



**TESIS SF142501**

**PENENTUAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH  
TAMAN WISATA PEMANDIAN AIR PANAS TAHURA R  
SOERJO CANGAR MENGGUNAKAN METODE VLF EM**

**ROSDIANA YOKU  
NRP. 1113201052**

**DOSEN PEMBIMBING  
Dr.rer.nat EKO MINARTO, M.Si**

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN FISIKA BUMI  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**



**THESIS SF142501**

**DETERMINATION OF SUBSURFACE STRUCTURES TAMAN  
WISATA Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo  
Cangar Area Using VLF EM Method**

**ROSDIANA YOKU  
NRP. 1113201052**

**SUPERVISOR  
Dr.rer.nat EKO MINARTO, M.Si**

**MAGISTER PROGRAM  
STUDY ON GEOPHYSICS  
DEPARTEMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECNOLOGY  
SURABAYA  
2015**



Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Sains (M.Si)  
di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :  
**Rosdiana Yoku**  
NRP. 1113201052

Tanggal Ujian : 02 July 2015  
Periode Wisuda : September 2015

Disetujui oleh :

1 **Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si.**

(Pembimbing)

(.....)

NIP: 19750205 199903 1 004

2 **Prof. Dr.rer.nat. Bagus Java Santosa, SU.**

(Penguji)

(.....)

NIP: 19620802 198701 1 001

3 **Dr. rer.nat. Bintoro Anang Subagyo, M.Si.**

(Penguji)

(.....)

NIP: 19790716 200501 1 002

  
Direktur Program Pascasajana,

**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T**

NIP. 19640405 199002 1 001



# **PENENTUAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH TAMAN WISATA PEMANDIAN AIR PANAS TAHURA R SOERJO CANGAR MENGGUNAKAN METODE VLF EM**

Nama Mahasiswa : Rosdiana Yoku  
NRP : 1113201052  
Jurusan : Fisika  
Dosen Pembimbing : Dr.rer.nat Eko Minarto, M.Si

## **ABSTRAK**

Telah dilakukan analisis data VLF EM dengan menggunakan analisa kualitatif dan analisa kuantitatif untuk menentukan struktur bawah permukaan daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo di desa Cangar. Analisa kualitatif dilakukan dengan menggunakan filter K-hjelt respon *inphase* dan *quadratur*, sedangkan analisa kuantitatif dihasilkan nilai resistivitas 2D dari hasil inversi data triper (*inphase* dan *quadrature*) dengan *software* Inv2DVLF dan pemodelan resistivitas 2D dengan menggunakan program surfer 9. Analisa kualitatif dapat digunakan untuk menganalisis sifat konduktif pada daerah penelitian dengan memperhatikan besar nilai rapat arus ekivalennya pada setiap lintasan. Dan untuk analisa kuantitatif dapat digunakan untuk menganalisis nilai resistivitas bawah permukaan pada daerah penelitian, yang mana sebaran jenis material pada ke-5 lintasan berdasarkan nilai resistivitas yang berkisar antara antara 0  $\Omega$ m sampai 120  $\Omega$ m, 0  $\Omega$ m sampai 150  $\Omega$ m, 5  $\Omega$ m sampai 155  $\Omega$ m, 0  $\Omega$ m sampai 80  $\Omega$ m dan antara 5  $\Omega$ m sampai 100  $\Omega$ m memiliki litologi bawah permukaan yang terdiri atas air tanah, pasir, lempung, alluvial, quarzites, diabas pasir campur lempung yang menyimpan air dalam jumlah terbatas, batuan gunung api (porfiri, basalt, sekis dan gneiss) serta caps rock. Dan dari ke 5 lintasan ini terdapat anomaly yang menyatakan adanya sumber panas bumi dengan ditunjukan oleh nilai resistivitas yang tinggi pada kedalaman 0 meter – 25 meter.

**Kata Kunci.** Panas bumi, metode VLF, Inv2DVLF

# **Determination of Subsurface Structures Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo Cangar Area Using VLF EM Method**

Name : Rosdiana Yoku  
NRP : 1113201052  
Department : Physics  
Advisor Lecture : Dr.rer.nat Eko Minarto, M.Si.

## **ABSTRACT**

VLF EM data analysis has been conducted using qualitative and quantitative method to Determination of Subsurface Structures Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo Cangar Area. Qualitative analysis was conducted using K-hjelt filter on delta inphase and quadrature, while quantitative analysis result 2D resistivity values from triper data inversion (inphase and quadrature) using Inv2DVLF software and the model of 2D resistivity by Surfer 9 program. Qualitative analysis can be used to analyze the conductive properties in the area of research with great attention to their equivalent value of the current density on each track. And for quantitative analysis can be used to analyze the subsurface resistivity value in the research area, in which the distribution of materials on the 5th track based resistivity values ranging between 0  $\Omega\text{m}$  to 120  $\Omega\text{m}$ , 0  $\Omega\text{m}$  to 150  $\Omega\text{m}$ , 5  $\Omega\text{m}$  to 155  $\Omega\text{m}$ , 0  $\Omega\text{m}$  to 80  $\Omega\text{m}$  and between 5  $\Omega\text{m}$  to 100  $\Omega\text{m}$  have the subsurface lithology consisting of ground water, sand, clay, alluvial, quartzites, diabas, sand mixed clay that holds water in limited quantities, volcanic rocks (porphyry, basalt, schist and gneiss) and also caps rock. And at every track there are anomalies that suggested a geothermal source indicated by a high resistivity values at a depth of 0 meters - 25 meters.

**Key Words.** Geothermal, VLF method, Inv2DVLF

## Kata Pengantar

Segala puji syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, atas segala kasih karunia dan berkat-NYA, sehingga tesis dengan judul **“PENENTUAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH TAMAN WISATA PEMANDIAN AIR PANAS TAHURA R SOERJO CANGAR MENGGUNAKAN METODE VLF EM”** ini dapat diselesaikan.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) dalam bidang keahlian Fisika Bumi pada program studi Pascasarjana Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya, kepada :

1. Bapak Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si atas bimbingan, arahan dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi selama menjadi dosen wali, dosen pembimbing dan dosen perkuliahan.
2. Bapak Prof. Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa, SU dan Bapak Dr.rer.nat. Bintoro Anang Subagyo, M.Si yang telah memberikan masukan dan saran pada saat seminar proposal dan seminar hasil tesis.
3. Ketua program studi Pascasarjana Fisika Bapak Prof. Dr. Eddy Yahya.
4. Seluruh Dosen program Pascasarjana Fisika khususnya dosen Fisika Bumi yang telah memberikan arahan dan bimbingan untuk mendalami ilmu Fisika Bumi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Bapak Prof. Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa, SU, selaku Kepala Laboratorium Fisika Bumi (Geofisika) Jurusan Fisika FMIPA-ITS beserta seluruh staf laboratorium yang telah mengijinkan peminjaman seperangkat alat ENVI VLF untuk membantu penelitian ini, khususnya Bapak Kis yang telah menyiapkan alat penelitian.
6. Mas Juan Pandu, S.Si, M.T, Dennis D Maumayan, S.Si, Nauw Desman Wilson dan Leonardo Asmuruf yang telah membantu dalam penelitian di lapangan.
7. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Indonesia (DIKTI) yang telah mempercayai saya sebagai penerima beasiswa untuk melanjutkan program Magister dalam bidang keahlian Fisika Bumi program studi pascasarjana Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
8. Ibu Dr. Melania S Muntini, M.T atas dukungan, nasehat, bimbingan dan motivasi selama penulis belajar dan berada di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
9. Ayahanda Ir. Adolof Yoku, Sp dan Ibunda Almarhumah Maria Sem, beserta kakak Rommy Silalahi, kakak Susana S Yoku, ST, kakak Linder

Yoku, Adik Almarhum Spener Yoku dan Adik Timothy Arkin Yoku atas segala dukungan, kasih sayang, motivasi dan doa-nya selama penulis belajar di S-2.

10. Sahabat terkasih saya Nauw Desman Wilson, atas segala dukungan, kasih sayang, motivasi, perhatian dan doa-nya
11. Bapak Pnt. Lazarus M dan Ibu Lazarus M, kakak David dan kakak Nensi beserta pemuda pemudi jemaat GPI. Jalan Suci Tubuh Kristus lokal Surabaya atas dukungan dan doa-nya.
12. Rekan rekan mahasiswa Pra S2 Fisika angkatan 2012 dan rekan rekan mahasiswa program pascasarjana Fisika angkatan 2013.
13. Rekan rekan mahasiswa club basket Fisika (PBC) ITS tahun 2013 - 2015 dan pelatih coach Doddy serta rekan rekan mahasiswa club voli FMIPA ITS tahun 2013 – 2015.
14. Rektor, Dekan FMIPA dan semua dosen FMIPA khususnya jurusan Fisika di Universitas Cenderawasih Jayapura Papua yang telah memberikan rekomendasi, motivasi dan dukungan untuk melanjutkan studi S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
15. Kepada semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dengan keterbatasan pengalaman, pengetahuan maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan perlu pengembangan lebih lanjut agar benar benar bermanfaat. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar tesis ini lebih sempurna serta sebagai masukan bagi penulis untuk penelitian dan penulisan karya ilmiah di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap tesis ini memberikan manfaat bagi kita semua terutama untuk pengembangan ilmu pengetahuan yang ramah lingkungan.

Surabaya, 15 Juli 2015

Rosdiana Yoku.

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	ii
<b>ABSTRAK .....</b>	iii
<b>ABSTRACT .....</b>	iv
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	v
<b>DAFTAR ISI .....</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	ix
<b>DAFTAR TABEL ....</b>	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Perumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAU PUSTAKA</b>	
2.1 Prinsip Dasar Metode VLF .....	5
2.2 Teori Dasar Metode VLF .....	8
2.3 Metode Very Low Frequency Elektromagnetic (VLF EM) .....	13
2.4 Geothermal .....	13
2.5 Sistem Hidrothermal.....	16
2.6 Filter Frase, Karous-Hjelt Filter dan NA-MEMD Filter.....	17
2.7 Pemodelan .....	23
2.7.1 Pemodelan ke Depan .....	23
2.7.2 Pemodelan ke Belakang.....	25
2.7.3 Perhitungan Sensitivitas .....	26
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Kondisi Geografis dan Geologi Daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Cangar .....	30
3.2 Tahapan Penelitian .....	33
3.3 Sistematika Pengolahan Data.....	37



3.4 Jadwal Kegiatan Penelitian .....	38
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran. ....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	
Lampiran A .....	61
Lampiran B .....	64
Lampiran C .....	66
Lampiran D .....	74
Lampiran E .....	82
Lampiran F .....	90
Lampiran G .....	91
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>95</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Variasi Skin Depth dengan Frekuensi Gelombang Bidang Medium Homogen dengan Resistivitas $\rho$ (Grant and West, 1965).....	6
Tabel 2.2 Daftar Resistivitas Beberapa Batuan dan Air .....	7
Tabel 3.1 Tabel Parameter Akusisi Data.....	35
Tabel 3.2 Tabel Lokasi Koordinat .....	35
Tabel 3.3 Tabel Jadwal Kegiatan Penelitian .....	39
Tabel Lampiran C .....	66
Tabel Lampiran D .....	74
Tabel Lampiran E.....	82
Tabel Lampiran F.....	90

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Induksi Medan EM pada Benda Konduktif yang Menyebabkan Timbulnya Eddy dan Menimbulkan Arus Gelombang EM Sekunder (Grant and West, 1965) .....	8
Gambar 2.2 Hubungan Amplitudo dan Fase Gelombang Sekunder (S) dan Primer (P).....	12
Gambar 2.3 Lapisan Bumi .....	14
Gambar 2.4 Area yang Termasuk Cincin Api.....	16
Gambar 2.5 Perpindahan Panas di Bawah Permukaan. ....	16
Gambar 2.6 Pemetaan Filter Frase pada Konstruksi Komponen Nyata dari 18 Profil. (E. Al-Tarazi et al. 2008) .....	18
Gambar 2.7 Rapat Arus Cross Section yang Nyata Ditunjukkan pada Profil VLF EM untuk V2, V4, V6, V7 dan V9 (E. Al-Tarazi et al. 2008). ....	19
Gambar 2.8 Respon VLF EM Sepanjang Profil V5, (a) Observasi dan Komputasi Komponen Infase dan Outfase (Quadrature) dalam %, (b) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM, (C) Cross Section Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008). ....	20
Gambar 2.9 Keuntungan dari NA-MEMD dalam Mengurangi Modus Pencampuran. IMFs dari Sinyal Sintetis yang Diperoleh dari Aplikasi pada (a) Standar EMD, (b) EEMD dan (c) NA-MEMD. ....	23
Gambar 2.10 Model Resistivitas yang Diperoleh dengan Pemodelan ke Belakang dari Model Sintetik. Kotak yang Bergaris Hijau Adalah Model yang Digunakan Untuk Menghasilkan Data Sintetik. ....	26
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	29

Gambar 3.2 Peta Administrasi Kota Batu .....	30
Gambar 3.3 Peta Topografi (a) Lokasi Penelitian secara Umum (b) Spesifik Lokasi Penelitian yang di Perkecil dari Ukuran Asli .....	32
Gambar 3.4 Sketsa Lintasan Pengukuran.....	34
Gambar 3.5 Alat ukur ENVI VLF, Kompas, dan GPS .....	36
Gambar 3.6 Bagan Alir Sistematika Pengolahan Data .....	37
Gambar 4.1 Respon VLF EM, (a) Grafik lintasan 1 tanpa penambahan WNG (b) Grafik lintasan 1 dengan penambahan WNG (c) Grafik lintasan 1 dengan penambahan WNG yang telah difilter dengan NA-MEMD (d) Model Resistivitas hasil pemodelan kedepan pada lintasan 1 .....	42
Gambar 4.2 Respon VLF EM sepanjang lintasan 1, (a) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Inphase, (b) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Quadrature, (c) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM .....	44
Gambar 4.3 Respon VLF EM sepanjang lintasan 2, (a) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Inphase, (b) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Quadrature, (c) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM. ....	47
Gambar 4.4 Respon VLF EM sepanjang lintasan 3, (a) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Inphase, (b) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Quadrature, (c) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM. ....	49

Gambar 4.5 Respon VLF EM sepanjang lintasan 4, (a) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Inphase, (b) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Quadrature, (c) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM. ....	51
Gambar 4.6 Respon VLF EM sepanjang lintasan 5, (a) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Inphase, (b) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Quadrature, (c) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM. ....	53
Gambar 4.7 (a) Peta Lokasi Penelitian Berdasarkan Letak Koordinat. (b) Pemetaan Filter K-hjelt Respon Inphase pada Lokasi Penelitian. ....	55
Gambar Lampiran A .....	61
Gambar Lampiran B .....	64
Gambar Lampiran G .....	91



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi panas bumi (*Geothermal*) merupakan energi yang diekstrak dari panas yang tersimpan di dalam bumi. Energi panas bumi ini berasal dari aktivitas tektonik di dalam bumi. Energi ini telah dipergunakan untuk memanaskan ruangan atau air ketika musim dingin sejak peradaban Romawi, namun sekarang lebih populer untuk menghasilkan energi listrik.

Geothermal termasuk sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, juga tidak tergantung akan bahan bakar fosil yang mungkin akan habis dalam beberapa tahun ke depan. Di Indonesia sendiri, geothermal terbentuk akibat proses tektonik lempeng. Adapun 3 lempeng tektonik aktif di Indonesia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia. Tumbukan antara tiga lempeng tektonik ini telah memberikan pembentukan energi panas bumi yang sangat penting di Indonesia. Pada akhirnya Indonesia termasuk zona subduksi, dimana pada zona ini terjadi penunjaman di sekitar pulau Sumatra, Jawa-Nusa Tenggara, Maluku, dan Sulawesi. Lempeng tektonik merupakan pengalir panas dari inti bumi sehingga banyak sekali geothermal yang dapat didirikan pada zona lempeng tektonik. Pada zona ini juga terbentuk gunung api yang berkontribusi pada reservoir panas di pulau Jawa yang menempati batuan vulkanik.

Di permukaan bumi sering terdapat sumber-sumber air panas, bahkan sumber uap panas. Panas itu datangnya dari batu-batu yang meleleh atau magma yang menerima panas dari inti bumi.

Dengan memperlihatkan secara skematis terjadinya sumber uap, yang biasanya disebut *fumarole* atau *geyser* serta sumber air panas. Magma yang terletak didalam lapisan mantel, memanasi lapisan batu padat. Diatas batu padat terletak suatu lapisan batu berpori, yaitu batu mempunyai banyak lubang kecil. Bila lapisan batu berpori ini berisi air, air itu turut dipanaskan oleh lapisan batu

padat yang panas itu, maka akan menghasilkan air panas bahkan terbentuk uap. Bila di atas lapisan batu berpori terdapat satu lapisan batu padat, maka lapisan batu berpori berfungsi sebagai boiler. Uap dan juga air panas bertekanan akan berusaha keluar. Panas inti mencapai 5000 °C lebih. Salah satu gejala panas bumi pada umumnya yang tampak di permukaan bumi yaitu berupa sumber air panas.

Untuk menggali potensi panas bumi yang ada di daerah yang berpotensi panas bumi perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan metode geofisika, salah satunya adalah metode VLF (Very Low Frequency), untuk itu dilakukan penelitian menggunakan metode VLF EM (Elektromagnetik) yang berguna untuk menentukan struktur bawah permukaan daerah sumber air panas di Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo Cangar Kota Batu Provinsi Jawa Timur. Daerah taman wisata pemandian air panas ini memiliki sumber air panas yang berasal langsung dari gunung api Welirang sehingga penelitian ini dilakukan untuk memberi informasi kondisi struktur bawah permukaan daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo Cangar.

## **1.1 Tujuan**

Maksud dari penelitian ini yaitu melakukan pemodelan menggunakan data dari metode VLF (Very Low Frequency) EM yang bertujuan untuk menentukan struktur bawah permukaan daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo Cangar.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Supaya penelitian ini menjadi optimal, adapun perumusan masalah yang dibuat sebagai berikut:

1. Bagaimana olah data VLF EM dan hasil pemodelan olah datanya?
2. Apakah indikasi awal dari anomali VLF EM yang dihasilkan?
3. Bagaimana struktur bawah permukaan daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo?

### **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pengambilan data dilakukan di daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo Cangar Kota Batu.
2. Metode yang digunakan adalah VLF EM dan data yang diperoleh adalah inphase dan quadrature.
3. Prosesing data menggunakan program MATLAB.
4. Pengolahan dan analisa data untuk interpretasi kuantitatif menggunakan Ms. Excel dan software Inv2DVLF. Dan untuk interpretasi kualitatif menggunakan filter Karous Hjelt respon inphase.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberi informasi kondisi struktur bawah permukaan daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo Cangar.

*(“Halaman ini sengaja dikosongkan”)*

## BAB II

### TINJAU PUSTAKA

#### 2.1 Prinsip Dasar Metode VLF (Very Low Frequency)

Metode *Very Low Frequency* (VLF) diaplikasikan dengan memanfaatkan pemancar-pemancar radio yang mentransmisikan gelombang elektromagnetik dalam range frekuensi radio yang sangat rendah secara kontinu ke seluruh penjuru dunia, dengan memiliki komponen medan listrik vertikal  $P_z, E$  dan komponen medan magnetik horizontal  $P_y, H$  tegak lurus terhadap arah perambatan sumbu  $x$ . Sehingga metode VLF adalah suatu metode elektromagnetik yang bertujuan untuk mengukur harga daya hantar listrik batuan berdasarkan pengukuran gelombang elektromagnetik sekunder. Gelombang ini merupakan gelombang hasil induksi elektromagnetik (EM) yang berfrekuensi sangat rendah (VLF atau Very Low Frequency) dari 15 hingga 30 KHz. Masing-masing komponen medan listrik dan medan magnet diukur sehingga diperoleh hubungan (*transfer function*) antara keduanya. Hubungan tersebut memberikan informasi perubahan konduktivitas secara lateral sepanjang lintasan dan sekitar titik-titik yang diukur. Hasil pengukurannya dapat langsung ditransformasikan dalam bentuk peta resistivitas dalam areal yang luas (Becken, 2000).

Sifat resistivitas listrik material di bawah permukaan bumi dapat dihitung berdasarkan perbandingan medan listrik dan medan magnetik terukur (Cagniard, 1953). Ward dan Hohmann (1987) menurunkan formulasi tersebut untuk gelombang datang yang tegak lurus, *uniform*, homogen, dan *plane wave* terhadap medium model bumi isotropik berlapis. Jika diasumsikan gelombang bidang merambat dalam arah  $z$  positif ke bawah, sumbu  $x$  merupakan arah pengukuran medan listrik dan sumbu  $y$  arah pengukuran medan magnet, maka resistivitas semu ( $\rho_{xy}$ ) dan fase ( $\varphi_{xy}$ ) dapat diperkirakan dari elemen impedansi sebagai berikut:

$$\rho_a(\omega) = \frac{1}{\omega\mu_0} \left| \frac{E_x(\omega)}{H_y(\omega)} \right|^2, \text{ dan} \quad (2.1)$$



$$\Phi(\omega) = \tan^{-1}[Z_{xy}(\omega)] = \tan^{-1}\left[\frac{E_x(\omega)}{H_y(\omega)}\right], \quad (2.2)$$

dimana  $\omega$  adalah frekuensi,  $\mu_0$  adalah permeabilitas,  $E$  adalah medan listrik,  $H$  adalah medan magnetik. Sedangkan *subscript*  $x$  dan  $y$  masing-masing menunjukkan arah komponen yang diukur. Resistivitas semu menunjukkan variasi resistivitas medium terhadap kedalaman sedangkan nilai fase lebih besar dari  $45^\circ$  dalam asumsi bumi 1D (satu dimensi) dapat diinterpretasikan sebagai medium konduktif dan fase kurang dari  $45^\circ$  sebagai medium resistif pada kedalaman terkait.

Kedalaman pendugaan struktur pada metode VLF dinyatakan sebagai *skin depth* ( $\delta$ ) yaitu kedalaman di mana amplitudo turun menjadi 37% dari amplitudo pada permukaan, dengan persamaan:

$$\delta = 1/\alpha = \sqrt{\left(\frac{2}{\mu_0 \sigma \omega}\right)} \approx 500\sqrt{(\rho/f)} [m] \quad (2.3)$$

dimana  $\rho$  adalah resistivitas [Ohm-m] dan  $f$  adalah frekuensi [Hz].

Tabel 2.1 Variasi Kedalaman Kulit (Skin Depth) dengan Frekuensi Gelombang Bidang Medium Homogen dengan Resistivitas P.

Skin Depth (m)				
F(Hz)	Resistivitas (Ohm meter)			
	0.01	1	$10^2$	$10^4$
0.01	500	5000	$5 \times 10^4$	$5 \times 10^5$
10	16	160	1600	16000
$10^3$	1.6	16	160	1600
$10^4$	0.5	5	50	500
$10^5$	0.16	1.6	16	160

Sumber: Grant and West, 1965

Metode elektromagnetik VLF bekerja berdasarkan adanya variasi resistivitas atau konduktivitas material di bawah permukaan. Resistivitas batuan di bawah permukaan bumi sangat bergantung pada kandungan air dan salinitas air di dalamnya. Air asin memiliki sifat konduktifitas yang lebih tinggi daripada air

tawar. Sementara itu, kandungan air di dalam batuan juga dapat meningkatkan konduktivitas batuan tersebut (Telford,et.al,1990).

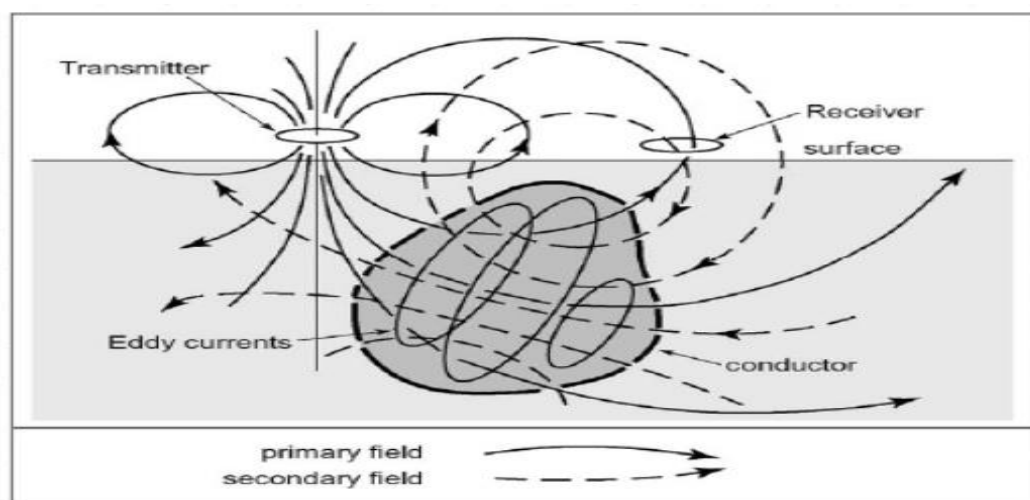
Tabel 2.2 Daftar Resistivitas Beberapa Batuan dan Air

Material	Resistivitas	Konduktivitas
Batuan beku dan batuan metamorf		
✓ Granit	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^6 - 2 \times 10^6$
✓ Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^3 - 10^6$
✓ Salte	$6 \times 10^3 - 4 \times 10^6$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
✓ Marbel	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
✓ Kuarsit	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Batuan sedimen		
✓ Batu pasir	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
✓ Serpih	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.05$
✓ Batu gamping	$50 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
Padat dan cair		
✓ Tanah liat	$1 - 100$	$0.01 - 1$
✓ Aluvial	$10 - 800$	$1.5 \times 10^{-3} - 0.1$
✓ Air tanah	$10 - 100$	$0.01 - 0.1$
✓ Air asin	$0.2$	$5$
Kimia		
✓ Iron	$9.074 \times 10^{-8}$	$1.102 \times 10^7$
✓ 0.01 M Potasium klorida	$0.708$	$1.413$
✓ 0.01 M Sodium klorida	$0.843$	$1.185$
✓ 0.01 M Asam asetat	$6.13$	$0.163$
✓ Xylene	$6.998 \times 10^{16}$	$1.429 \times 10^{-17}$

Sumber: Loke 1999

Karena gelombang elektromagnetik sekunder merupakan gelombang hasil induksi elektromagnetik pada frekuensi rendah, maka di dalam medium akan

menimbulkan arus induksi. Arus induksi atau arus Eddy inilah yang menimbulkan medan elektromagnetik sekunder baru yang dapat ditangkap permukaan yang disebut medan elektromagnetik sekunder, SH, yang mempunyai komponen horizontal dan komponen vertikal dan medan elektromagnetik sekunder yang baru inilah yang ditangkap oleh instrumentasi VLF. Medan magnetik ini mempunyai bagian yang sefase (inphase) dan berbeda fase 90°C (quadrature) dengan medan primer. Adapun besar medan elektromagnetik sekunder sangat tergantung dari sifat konduktivitas benda di bawah permukaan. Besarnya kuat medan EM sekunder sebanding dengan besarnya daya hantar listrik batuan ( $\sigma$ ), sehingga dengan mengukur kuat medan pada arah tertentu, secara tidak langsung dapat mendeteksi daya hantar listrik batuan di bawahnya.



Gambar 2.1 Induksi Medan EM pada Benda Konduktif yang Menyebabkan Timbulnya Arus Eddy dan Menimbulkan Arus Gelombang EM Sekunder (Grant and West, 1965).

## 2.2 Teori Dasar Metode VLF

Perambatan medan elektromagnetik dinyatakan dalam empat vektor medan yaitu E menunjukkan intensitas medan listrik (V/m), H menunjukkan intensitas medan magnetisasi (A/m), B menunjukkan induksi magnetik, atau arus

rapat fluks (Wb/m<sup>2</sup> atau tesla) dan  $\bar{D}$  menunjukkan pergeseran listrik (C/m<sup>2</sup>). Keempat vektor medan tersebut digunakan dalam persamaan Maxwell dalam bentuk hubungan vektor medan listrik dan medan magnet yang secara teoritis merupakan dasar metode VLF.

$$\nabla \cdot \bar{E} = \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} \quad (2.4)$$

$$\nabla \times \bar{H} = \bar{J} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} \quad (2.5)$$

untuk  $\bar{J}$  merupakan rapat arus listrik (A/m<sup>2</sup>).

Persamaan (2.4) mempunyai arti fisis bahwa medan listrik timbul akibat medan magnet yang berubah sebagai fungsi waktu dan persamaan (2.5) menunjukkan bahwa medan magnet yang terjadi dalam suatu ruang ditimbulkan oleh aliran arus, serta medan magnetik berbanding lurus dengan arus listrik totalnya.

Bila dalam medium homogen isotrop dimana  $\bar{B} = \mu \bar{H}$ ,  $\bar{D} = \epsilon \bar{E}$ , dan  $\bar{J} = \sigma \bar{E}$ , maka persamaan (2.4) dan (2.5) dapat disederhanakan menjadi:

$$\nabla \cdot \bar{E} = -\mu \left( \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \right) \quad (2.6)$$

$$\nabla \times \bar{H} = \sigma \bar{E} + \epsilon \left( \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \right) \quad (2.7)$$

Dengan menggunakan operasi curl pada persamaan (2.6) dan (2.7) serta vektor identitas  $\nabla \times (\nabla \times A) = \nabla(\nabla \cdot A) - \nabla^2 A$ , akan didapatkan:

$$\nabla^2 \bar{E} = \mu \left( \frac{\partial}{\partial t} \right) (\nabla \times \bar{H}) = \sigma \mu \left( \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \right) + \epsilon \mu \left( \frac{\partial^2 \bar{E}}{\partial t^2} \right). \quad (2.8)$$

$$\nabla^2 \bar{E} = \sigma (\nabla \cdot \bar{E}) - \epsilon \left( \frac{\partial}{\partial t} \right) (\nabla \times \bar{H}) = \sigma \mu \left( \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \right) + \epsilon \mu \left( \frac{\partial^2 \bar{H}}{\partial t^2} \right). \quad (2.9)$$

Apabila fungsi waktunya dipilih sebagai fungsi sinusoidal dengan  $\omega = 2\pi f$ , maka persamaan (2.8) dan (2.9) dapat disederhanakan menjadi persamaan gelombang elektromagnetik yang diasumsikan medan  $\bar{E}$  dan medan  $\bar{H}$

tersebut hanya sebagai fungsi eksponensial, akan diperoleh persamaan vektorial sebagai berikut.

$$\nabla^2 \bar{E} = i\omega\mu\sigma\bar{E} - \epsilon\mu\omega^2\bar{E} \quad (2.10)$$

$$\nabla^2 \bar{H} = i\omega\mu\sigma\bar{H} - \epsilon\mu\omega^2\bar{H} \quad (2.11)$$

dimana  $\omega$  adalah frekuensi sudut dalam radian per detik,  $\mu$  adalah permeabilitas megnetik (H,m) dan  $\epsilon$  adalah permitivitas dielektrik (F/m). Bagian kiri pada sisi kanan persamaan (2.10) dan (2.11) menunjukkan arus konduksi, sedangkan bagian kanannya menunjukkan sumbangan arus pergeseran. Secara umum persamaan (2.10) dan persamaan (2.11) adalah persamaan gelombang elektromagnetik untuk perambatan vektor medan listrik dan medan megnetik didalam medium homegen isotropik yang memiliki konduktivitas, permeabilitas dan permitivitas.

Jika gelombang elektromagnetik melewati benda konduktif berkonduktivitas rendah maka:

$$\nabla^2 \bar{E} \approx -\omega^2\epsilon\mu\bar{E}, \quad \nabla^2 \bar{H} \approx -\omega^2\epsilon\mu\bar{H} \quad (2.12)$$

dan apabila gelombang elektromagnetik melewati benda konduktif berkonduktivitas tinggi, maka:

$$\nabla^2 \bar{E} \approx \mu\sigma \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \approx i\omega\mu\sigma\bar{E}, \quad \nabla^2 \bar{H} \approx \mu\sigma \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \approx i\omega\mu\sigma\bar{H} \quad (2.13)$$

Untuk menyelesaikan persamaan (2.13), diasumsikan bahwa gelombang elektromagnetik merambat pada sumbu z, sehingga,

$$H_y(z, t) = H_0 e^{i\omega t + mz}. \quad (2.14)$$

dengan  $H_0$  merupakan kuat medan primer, dan  $m^2 = i\omega\mu\sigma$  atau:

$$m = \pm(1+i) \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} = \pm(1+i)a. \quad (2.15)$$

dengan  $a = \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}$ . Karena  $H$  harus terdefinisi pada  $z = +\infty$ , sehingga,



$$H_y = H_0 e^{i\omega t - (1+j)az} = H_0 e^{-az + i(\omega t - az)}. \quad (2.16)$$

atau

$$H_y = H_0 e^{-az} \cos(\omega t - az). \quad (2.17)$$

Persamaan (2.17) merupakan persamaan gelombang elektromagnetik pada bidang z (sumbu vertikal).

Di dalam VLF (pada frekuensi  $< 100\text{KHz}$ ), arus pergeseran akan lebih kecil dari pada arus konduksi karena permitivitas dielektrik batuan rata-rata cukup kecil (sekitar  $10\epsilon_0$  dengan  $\epsilon_0$  sebesar  $9 \times 10^{12}\text{F/m}$ ) dan konduktivitas target VLF biasanya  $\geq 10^{-2}\text{S/m}$ . Hal ini menunjukkan bahwa efek medan akibat arus konduksi memegang peranan penting ketika terjadi perubahan konduktivitas medium (Sharma, 1997).

Sesuai dengan persamaan (2.10) dan (2.11), gelombang bidang yang merambat ke bawah pada sebuah medium dengan konduktivitas  $\sigma$ , dimana medan  $\bar{E}$  berorientasi pada sumbu x dan medan  $\bar{H}$  pada sumbu y akan memberikan solusi;

$$\bar{E}_x = \bar{E}_0 e^{-ikz} = \bar{E}_0 e^{-i(\beta + i\alpha)Z} \quad (2.18)$$

dengan k adalah parameter atau angka gelombang ( $k^2 = -i\omega\mu(\sigma + i\omega\epsilon)$ ). Parameter nyata (real)  $\beta$  menunjukkan faktor fase (rad/m) dan parameter imajiner menunjukkan faktor atenuasi atau pelemahan gelombang (db/m).

Karakteristik gelombang elektromagnetik dalam metode VLF dapat dijelaskan bahwa pada saat gelombang primer masuk ke dalam medium, gaya gerak listrik (ggl) induksi  $e_s$  akan muncul dengan frekuensi yang sama, tetapi fase tertinggal  $90^\circ$ . Gambar 2.2 menunjukkan diagram vektor antara medan primer P dan ggl induksinya.



### 2.3 Metode Very Low Frequency Elektromagnetic (VLF EM)

Gelombang EM yang terdeteksi oleh antenna penerima merupakan nilai medan magnetik total dari medan primer yang berlangsung menjalar melalui udara ataupun yang dipantulkan oleh ionosfer bumi, dan medan sekunder hasil induksi elektromagnetik pada konduktor, dimana medan magnetik primer lebih besar dari medan magnetik sekunder. Sehingga besar medan magnetik sekunder dan medan magnetik total bergantung pada ruang, waktu dan frekuensi. Dikarenakan kondisi medan jauh, besar medan magnetik primer tidak bergantung terhadap ruang. Respon EM yang terukur pada penerima akan memiliki beda fase yang berbeda antara medan primer dan medan sekunder, secara matematis dapat ditulis:

$$H_R = H_P + H_S.$$

$$H_R = |H_P|e^{i\omega t} + |H_S|e^{i(\omega t - \varphi)}. \quad (2.20)$$

dengan frekuensi pemancar  $f = (\omega/2\pi)$  dan pergeseran fase ( $\varphi$ ) antara komponen medan magnetik primer dan sekunder. Informasi ini dapat diolah untuk menentukan ukuran dan nilai konduktivitas dari suatu konduktor yang terdapat di bawah permukaan bumi.

Adapun ungkapan dalam bentuk vektor, komponen- komponen medan magnetik mempunyai bentuk:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ H_{Ry} \\ H_{Rz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ H_{Py} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ H_{Sy} \\ H_{Sz} \end{bmatrix}. \quad (2.21)$$

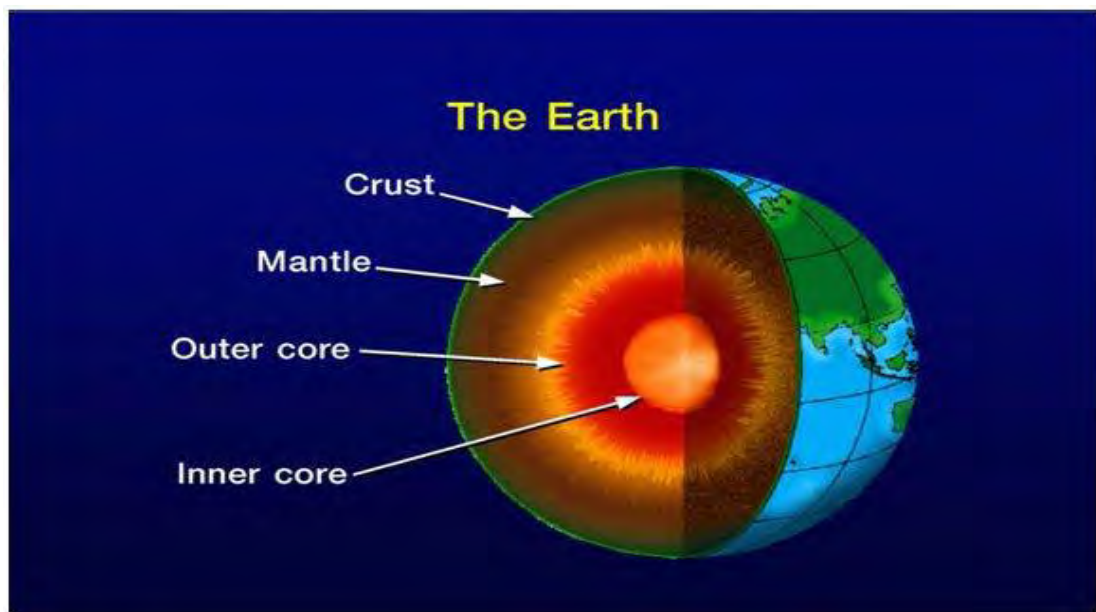
Hasil dari pengukuran metode VLF EM adalah inphase dan quadrature merupakan rasio dari  $H_{Rz}/H_{Ry}$  dan merefleksikan perubahan distribusi resistivitas di bawah permukaan.

### 2.4 Geothermal

Geothermal (yang dalam bahasa Indonesia “panas bumi”) berasal dari kata *geo* yang berarti bumi dan *thermal* yang berarti panas. Sehingga dapat

diartikan sebagai panas yang terkandung secara alamiah di dalam bumi. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (1995) panas bumi adalah sumber energi, seperti air panas, uap panas, serta gas-gas lain yang terdapat di dalam perut bumi, sedangkan Leibowitz (1978) mendefinisikan energi panas bumi sebagai sejumlah panas yang berasal dari bumi dan berada cukup dekat dengan permukaan bumi.

Geothermal dapat juga dimaknai sebagai energi panas yang terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi.



Gambar 2.3 Lapisan Bumi

Perhatikan gambar di atas. Kerak bumi (crust), yang merupakan lapisan terluar yang keras atau padat berupa batu, mampu menahan aliran panas yang berasal dari bawah permukaan bumi. Sementara mantel bumi (mantle) merupakan lapisan yang semi-cair atau batuan yang meleleh atau sedang mengalami perubahan fisik akibat pengaruh tekanan dan temperatur tinggi di sekitarnya. Sedangkan bagian luar dari inti bumi (outer core) berbentuk liquid dan lapisan terakhir yaitu lapisan terdalam dari inti bumi (inner core) berwujud padat.

Jauh di bawah permukaan bumi terdapat panas yang sangat tinggi sehingga semua batuan dan benda berubah menjadi cair. Batuan cair yang bersuhu tinggi tersebut dinamakan "magma". Semenjak terjadinya bumi, magma tersebut selalu memanasi kerak bumi yang merupakan bagian terluar dari bumi sampai

kedalaman 15 km (jari-jari bumi: 6371 km). Kerak tersebut mengandung air yang ikut terpanasi. Apabila air tersebut dapat tembus atau muncul ke permukaan bumi dan bebas dari tekanan yang disebabkan oleh kedalamannya, maka akan berubah menjadi uap panas, kubangan lumpur panas ataupun sebagian mata air panas (Saptadji Miryani Nenny, 1992).

Sistem panas bumi di alam mencakup sistem hidrothermal yang merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistem dimana air yang terpanaskan terkumpul. Sistem panas memiliki syarat sebagai berikut:

1. Adanya peresapan air tanah dalam (air meteorik).
2. Adanya batuan panas bumi berupa magma.
3. Adanya sumber panas berupa kantong magma, baik sisa dari gunung api maupun terobosan magma di kedalaman (stock).
4. Adanya persediaan air tanah secukupnya yang sirkulasinya dekat dengan sumber magma, agar dapat terbentuk uap air panas.
5. Adanya batuan berpori yang menyimpan sumber uap dan air panas.
6. Adanya batuan keras yang menahan hilangnya uap dan air panas.
7. Adanya gejala struktur, umumnya patahan yang menjebak bagi tersebarnya manifestasi panas bumi di permukaan.
8. Panasnya harus mencapai suhu tertentu, minimum sekitar  $180^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$ .

Keseluruhan parameter di atas bekerja saling terkait membentuk sistem panas bumi. Batuan panas akan berfungsi sebagai sumber pemanas air yang dapat berwujud tubuh terobosan granit. Pada umumnya sumber panas bumi terdapat di jalur gunung api, maka sebagai sumber panas adalah magma atau batuan yang telah mengalami radiasi panas dari magma.

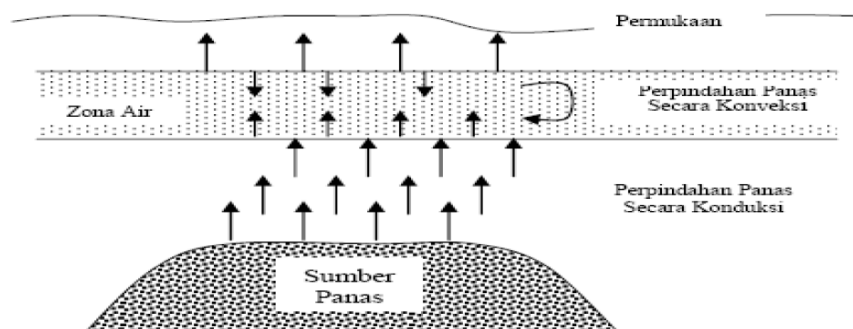
Sumber aktif geothermal ditemukan sepanjang batas *plate* utama dimana terdapat konsentrasi gempa bumi dan gunung api. Untuk aktifitas geothermal di dunia terjadi di area yang disebut cincin api, yang mengelilingi Samudra Pasifik.



Gambar 2.4 Area yang Termasuk Cincin Api.

## 2.5 Sistem Hidrothermal

Sistem panas bumi di Indonesia umumnya merupakan sistem hidrothermal yang mempunyai temperatur tinggi ( $> 225^{\circ}\text{C}$ ), hanya beberapa diantaranya yang mempunyai temperatur sedang ( $150 - 225^{\circ}\text{C}$ ). Pada dasarnya sistem panas bumi jenis hidrothermal terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas.



Gambar 2.5 Perpindahan Panas di Bawah Permukaan

Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung (bouyancy). Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke bawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan.

Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi. Adanya suatu sistem hidrothermal di bawah permukaan sering kali ditunjukkan oleh adanya manifestasi panas bumi di permukaan, seperti mata air panas, kubangan lumpur panas, *geyser* dan manifestasi panas bumi lainnya, dimana beberapa di antaranya, yaitu mata air panas, kolam air panas sering dimanfaatkan oleh masyarakat setempat untuk mandi, berendam, mencuci, masak dll. Manifestasi panas bumi di permukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan- rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan.

## **2.6 Filter Frase, Karous-Hjelt Filter dan NA-MEMD Filter**

Pada umumnya, VLF EM dapat diinterpretasikan secara kuantitatif dan kualitatif. Interpretasi Kualitatif menggunakan filter frase dan K-Hjelt filter untuk mengestimasi lokal lateral dan zona resistivitas bawah permukaan dengan Inv2DVLF yang dikembangkan oleh Monteiro Santos, 2006.

Untuk filter frase (Fraser, 1969) mengkonversi titik *crossover* dalam respon puncak dengan  $90^\circ$  fase pergeseran. Proses ini menghilangkan langsung bias saat mengurangi *noise* (gangguan) secara acak dan berturut-turut pada Stasiun yang dihasilkan dari komponen frekuensi yang sangat rendah dengan kepekaan respon yang tidak teratur, filter frase juga menghilangkan frekuensi Nyquist pada noise terkait dan panjang gelombang spasial dalam rangka meningkatkan panjang resolusi anomali lokal. Prinsip dasar dari filter Fraser adalah menggunakan 4 buah titik yang berurutan dengan cara mengurangi jumlah dari nilai data ke-3 dan ke-4 terhadap jumlah dari nilai data ke-1 dan ke-2.

Kemudian diplot pada titik tengah antara data ke-2 dan data ke-3. Atau secara matematis filter Fraser dapat dilakukan sebagai berikut:

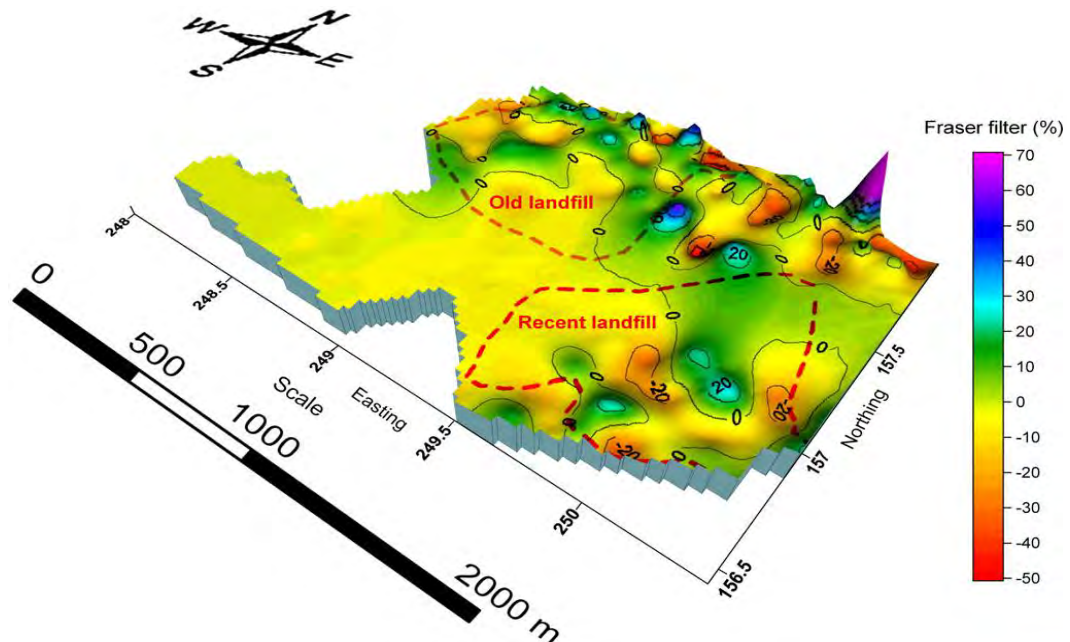
$$F_n = (M_{n+2} + M_{n+3}) - (M_n + M_{n+1}) \quad (2.22)$$

K-Hjelt filter (Karous dan Hjelt, 1983) Dimulai dengan hukum Savart untuk menggambarkan komponen vertikal dari medan magnet yang timbul dari distribusi arus 2-D bawah permukaan. K-Hjelt menggunakan teori filter linier untuk memecahkan persamaan integral untuk distribusi saat ini, diasumsikan bahwa ditempatkan dalam lembaran tipis horizontal dari berbagai arus densitas, yang terletak di mana-mana pada kedalaman sama dengan jarak antara stasiun pengukuran. Adapun profil kedalaman dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$KH_n = -0.102M_{n-3} + 0.059M_{n-2} - 0.561M_{n-1} + 0.0561M_{n+1} - 0.059M_{n+2} + 0.102M_{n+3} \quad (2.23)$$

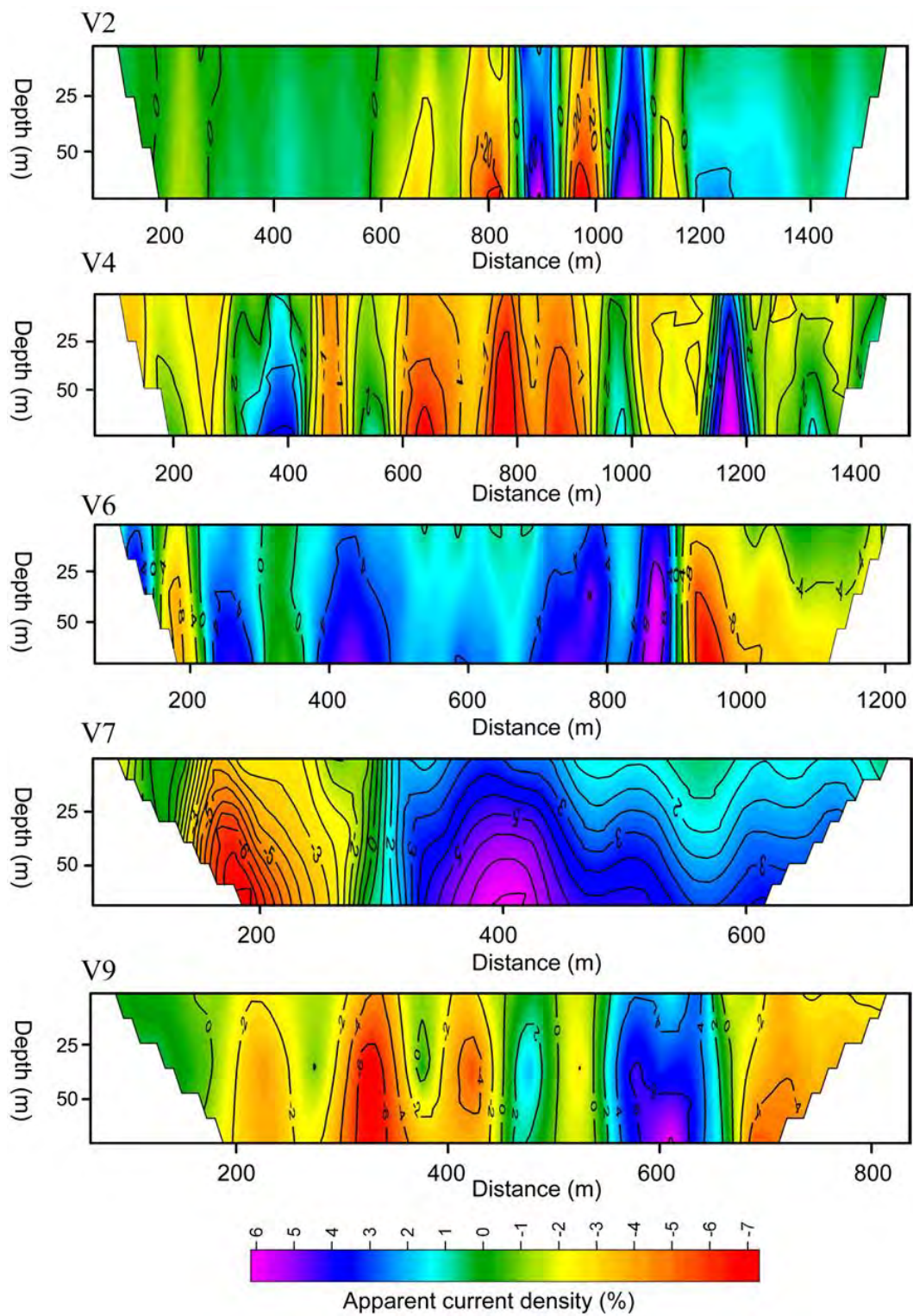
dimana  $M_n = \bar{H}_z / \bar{H}_x$  adalah nilai yang terukur pada alat.

Berikut merupakan beberapa contoh gambar dari interpretasi kualitatif menggunakan filter frase dan filter K-Hjelt pada data VLF EM.

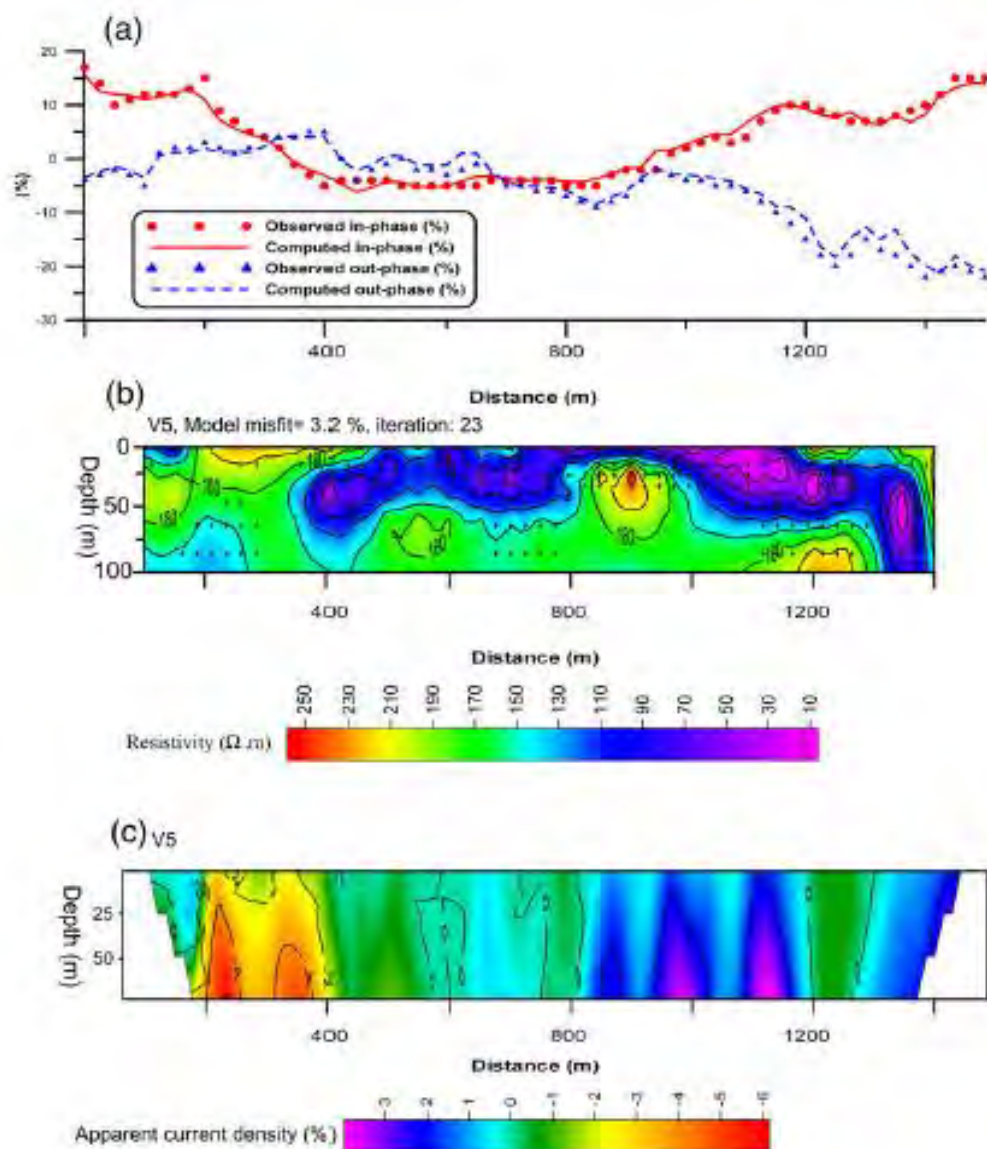


Gambar 2.6 Pemetaan Filter Frase pada Konstruksi Komponen Nyata dari 18 Profil. (E. Al-Tarazi et al. 2008).





Gambar 2.7. Rapat Arus Cross Section yang Nyata Ditunjukkan pada Profil VLF EM untuk V2, V4, V6, V7 dan V9 (E. Al-Tarazi et al. 2008).



Gambar 2.8 Respon VLF EM Sepanjang Profil V5, (a) Observasi dan Komputasi Komponen Infase dan Outfase (Quadrature) Dalam %, (b) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM, (C) *Cross Section* Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008).

Banyak *noise* yang mempengaruhi kualitas data VLF EM misalnya kondisi geologi yang menginduksi VLF EM atau aktivitas manusia. Hampir semua *noise* tersebut bersifat non linier dan tidak stasioner sehingga sulit dihilangkan dengan menggunakan metode linier. Untuk itu perlu dilakukan pengolahan data VLF EM dengan menggunakan NA- MEMD (Noise Assisted-

Multivariate Empirical Mode Decomposition) yang merupakan salah satu filter untuk menghilangkan *noise* bersifat linier dari data eksplorasi atau VLF EM itu sendiri. NA-MEMD filter ini merupakan salah satu filter yang dikembangkan dari EMD (Empirical Mode Decomposition) dan EEMD (Ensemble Empirical Mode Decomposition). Prinsip secara umum EMD adalah mendekomposisi sinyal menjadi IMF-IMF dan residu. Untuk mendapatkan IMFs (intrinsic mode functions) dari suatu sinyal dapat dilakukan dengan:

1. mengestimasi maksimum lokal dan minimum lokal.
2. Interpolasi lokal minimum untuk mendapatkan sinyal yang lebih rendah dan kemudian *envelope* interpolasi lokal maksimum untuk mengestimasi sinyal yang lebih tinggi dari *envelope*.
3. Hitung rata-rata fungsi antara *envelope* rendah dan tinggi.
4. Pisahkan rata-rata dari jumlah sinyal untuk mendapatkan mode osilator  $s(t) = x(t) - m(t)$ .
5. Jika  $s(t)$  memenuhi kriteria maka berhenti, kemudian kita mendefinisikan  $d(t) = s(t)$  dan mengulangi proses dari langkah pertama.

Secara umum tahapan EEMD adalah sebagai berikut:

1. Tambahkan *white noise* pada data.
2. Mendekomposisi data yang sudah ditambahkan *white noise* menjadi IMF – IMF.
3. Mengulang langkah ke 1 dan 2 menggunakan *white noise* pada tiap waktu.
4. Mengestimasi rata-rata ensemble dari IMF dekomposisi.

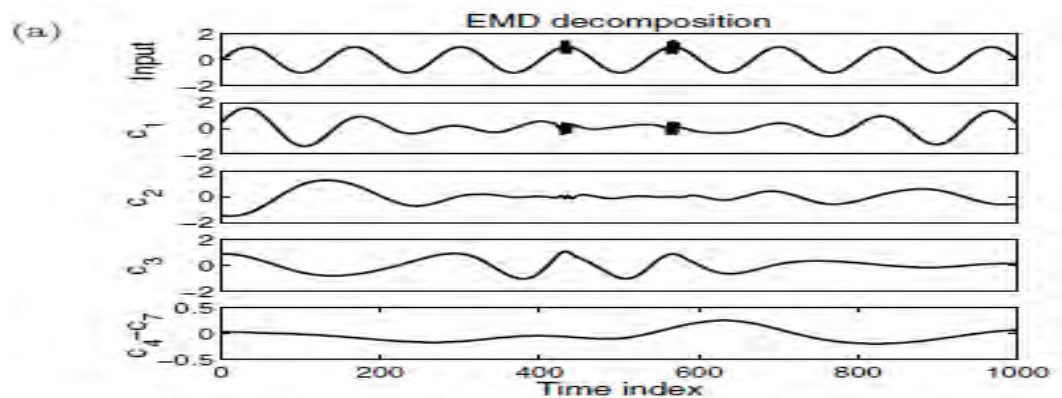
Metode EEMD dapat dituliskan dalam ekspresi matematis secara sederhana. Sebelum proses *shifting*, dilakukan penambahan *finite amplitude* dari *white noise*  $p(t)$  untuk data input  $y(t)$  untuk mendapatkan data dari tambahan *noise*  $Y(t)$  yaitu:

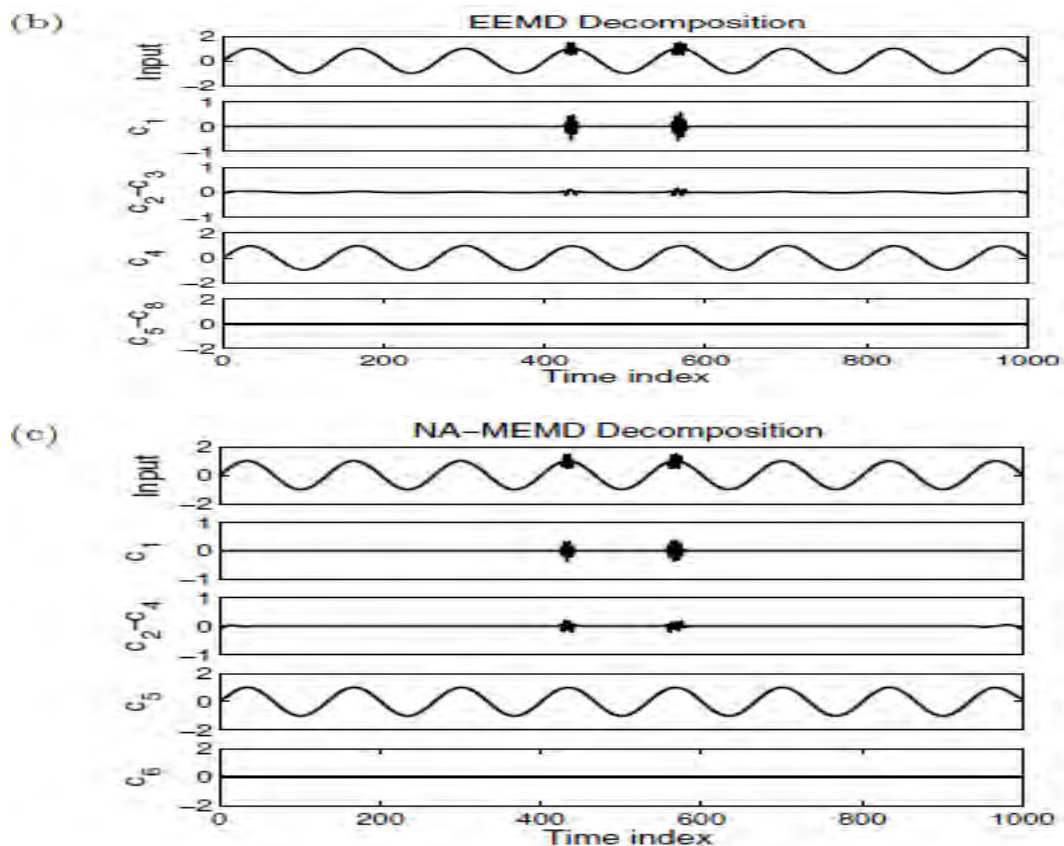
$$Y(t) = y(t) + p(t).kR \quad (2.24)$$

dimana  $R$  adalah rasio standar deviasi dari amplitudo penambahan *noise* pada original data  $y(t)$ , *white noise*  $p(t)$  merupakan angka nilai random dimiliki dari amplitudo dengan distribusi normal dari *zero mean*. Nilai yang disarankan  $R$  dan  $k$  berturut-turut adalah 0.5 dan 100 (Lin dan Jeng, 2010).

Tahap kedua dilakukan inversi data tripper (inphase dan quadrature). Inversi merupakan suatu penjabaran matematis untuk memperoleh informasi

sistem fisika berdasarkan data observasi terhadap suatu sistem tersebut. Inversi ini dilakukan dengan berbasis *Finite Element Method* (FEM) yang dikembangkan oleh Monteriro Santos. Masukan software tersebut berupa inphase dan quadrature yang sudah difilter dengan EEMD sehingga dihasilkan model 2D (dua dimensi) nilai resistivitas bawah permukaan. Namun ketika adanya metode NA-MEMD yang beroperasi dengan terlebih dahulu menciptakan sinyal multivariat yang terdiri dari satu atau lebih masukan saluran data dan realisasi independen berdekatan WGN (White Gaussian Noise) dalam saluran terpisah. Menghasilkan sinyal multivariat, yang terdiri dari data dan saluran noise, diproses dengan menggunakan metode MEMD, dan IMFs sesuai dengan data asli yang direkonstruksi untuk menghasilkan dekomposisi yang diinginkan (Rehman dan Mandic, 2011). Dengan menggunakan NA- MEMD tidak sama seperti EEMD yang pada inputan fisiknya masih terputus putus atau kurang optimal pada pengurangan *noise*, sedangkan NA-MEMD pada inputannya mencegah langsung artefak *noise*. Sehingga pada saat ini diterapkan NA- MEMD untuk memfilter data inphase dan quadrature yang dilakukan pada inversi untuk menghasilkan model inversi 2 dimensi untuk nilai resistivitas pada struktur bawah permukaan.





Gambar 2.9 Keuntungan dari NA-MEMD dalam Mengurangi Modus Pencampuran. IMFs dari Sinyal Sintetis yang Diperoleh dari Aplikasi pada (a) Standar EMD, (b) EEMD dan (c) NA- MEMD.

## 2.7 Pemodelan

Pemodelan ke depan (forward modelling) dan ke belakang (inverse modelling) adalah proses yang saling berkebalikan satu sama lain. Pemodelan ke depan menggambarkan respon penyebaran gelombang dari model yang kita buat. Pemodelan ke belakang mencoba mengembalikan pengaruh dari perambatan gelombang untuk menghasilkan suatu gambaran bawah permukaan.

### 2.7.1 Pemodelan ke Depan

Untuk menggambarkan gelombang bidang, difusi dan medan elektromagnetik harmonik, dapat diungkapkan dengan menggunakan persamaan Maxwell:

$$\frac{\partial^2 \bar{E}_y}{\partial^2 x^2} + \frac{\partial^2 \bar{E}_y}{\partial^2 z^2} = i\omega\mu\sigma\bar{E}_y \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\sigma} \frac{\partial^2 \bar{H}_y}{\partial^2 x^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial^2 \bar{H}_y}{\partial^2 z^2} \right) = i\omega\mu\sigma\bar{H}_y \quad (2.26)$$

dimana  $\bar{E}_y$  adalah komponen y dari medan listrik dan  $\bar{H}_y$  adalah komponen y dari medan magnetik yang menunjukkan arah *strike*. Untuk menyelesaikan medan yang tak diketahui syarat batas ketidakhomogenan *dirichlet* diaplikasikan untuk menetapkan nilai medan lapisan horizontal *half space* terhadap nilai batas.

Penentuan komponen medan  $\bar{H}_x, \bar{H}_z$  untuk polarisasi medan listrik (polarisasi- $\bar{E}$ ),  $\bar{E}_x$  dan  $\bar{E}_z$  untuk polarisasi medan magnetik (polarisasi- $\bar{H}$ ) dapat ditentukan dengan:

$$\bar{H}_x = \frac{1}{i\omega\mu} \frac{\partial \bar{E}_y}{\partial z}, \text{ dan } H_z = \frac{1}{i\omega\mu} \frac{\partial \bar{E}_y}{\partial x} \quad (2.27)$$

$$\bar{E}_x = -\frac{1}{\sigma} \frac{\partial \bar{H}_y}{\partial z}, \text{ dan } \bar{E}_z = -\frac{1}{\sigma} \frac{\partial \bar{H}_y}{\partial x} \quad (2.28)$$

Nilai resistivitas semu  $\rho_a$  dan fase  $\phi$  untuk polarisasi- $\bar{E}$  dan polarisasi- $\bar{H}$  dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{\bar{E}_y}{\bar{H}_x} \right|^2, \phi = \tan^{-1} \left( \frac{\text{imag}(\bar{E}_y/\bar{H}_x)}{\text{real}(\bar{E}_y/\bar{H}_x)} \right) \quad (2.29)$$

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{\bar{E}_y}{\bar{H}_z} \right|^2, \phi = \tan^{-1} \left( \frac{\text{imag}(\bar{E}_y/\bar{H}_z)}{\text{real}(\bar{E}_y/\bar{H}_z)} \right) \quad (2.30)$$

Bagian real dan imajiner dari fungsi transfer magnetik pada VLF dapat dihitung dengan rumus:

$$Re = \text{real} \left( \frac{\bar{H}_z}{\bar{H}_x} \right) \cdot 100\% \quad (2.31)$$

$$Im = \text{imag} \left( \frac{\bar{H}_z}{\bar{H}_x} \right) \cdot 100\% \quad (2.32)$$



### 2.7.2 Pemodelan ke Belakang

Inv2DVLF merupakan salah satu program untuk melakukan pemodelan ke belakang dengan mengasumsikan berupa data VLF EM (titik pengukuran, inphase dan quadrature), data topografi, batasan mesh, serta resistivitas lingkungan pada daerah pengukuran. Pemodelan ke belakang dilakukan dengan metode *Last Square* dengan algoritma *finite-element* dengan tujuan untuk meminimalkan fungsi, dengan menggunakan rumus:

$$\Psi = (\Delta d - S\Delta p)^T(\Delta d - S\Delta p) + \lambda(\Delta p^T \Delta p - p_0^2) \quad (2.33)$$

dimana  $\Delta d$  adalah  $d_{obs} - d_{cal}$  menerangkan ketidakcocokkan antara data observasi dan data yang dihitung, sedangkan  $S$  dan  $P$  secara berurutan menunjukkan sensitivitas matriks dan parameter model yang diperbaharui terhadap jumlah batas  $P_0$ . Turunan parsial  $\partial\Psi/\partial\Delta p_j$  dikehendaki menjadi nol untuk semua sell model  $j$  agar memperoleh fungsi minimum dari  $\Psi$ . Hasil persamaan normalnya adalah:

$$(S^T S + \lambda I)\Delta p = S^T \Delta d \quad (2.34)$$

dimana  $I$  adalah matriks identitas. Persamaan ini diselesaikan dengan cara mengaplikasikan penyelesaian langsung untuk setiap tahap iterasi kedalam persamaan (2.25) dan (2.26). Untuk mendapatkan penyelesaian yang cepat, parameter Langrange diturunkan menjadi lebih kecil dengan faktor yang lebih kecil dari 1.

*Error root mean square*  $\chi^2$  dapat dihitung dengan persamaan:

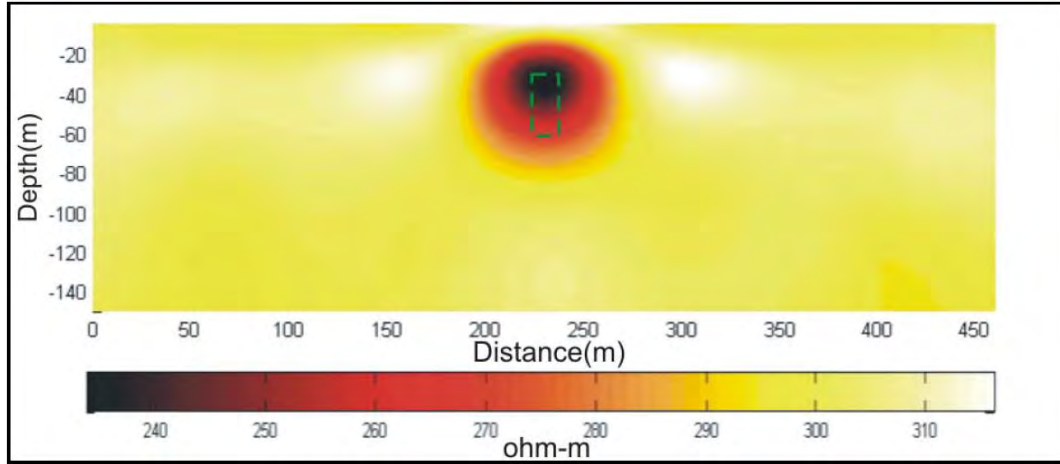
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta d_i^2} \quad (2.35)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta d_i^2}{\varepsilon_i^2} \quad (2.36)$$

dimana  $\varepsilon_i$  adalah standar deviasi dan  $n$  adalah jumlah data. Iterasi akan dihentikan jika memenuhi kriteria-kriteria berikut:

1. Iterasi mencapai jumlah yang kita tetapkan.
2. Ketikan error RMS tidak mengalami perubahan.

Contoh hasil pemodelan ke belakang dapat dilihat pada Gambar 2.10 yang memperlihatkan contoh hasil pemodelan ke belakang dan akibat benda konduktif.



Gambar 2.10. Model Resistivitas yang Diperoleh dengan Pemodelan ke Belakang dari Model Sintetik. Kotak yang Bergaris Hijau Adalah Model yang Digunakan Untuk Menghasilkan Data Sintetik.

Sehingga keluaran dari program Inv2DVLF adalah model resistivitas hasil pemodelan ke belakang, model sensitivitas hasil pemodelan ke belakang, dan perbandingan respon data VLF hasil pemodelan ke belakang dan hasil observasi.

### 2.7.3 Perhitungan Sensitivitas

Element  $S_{jj}$  dari matriks sensitivitas  $S$  untuk pengamatan ke- $i$  dan parameter model ke- $j$  dihitung menggunakan metode persamaan sensitivitas, untuk perhitungan pemodelan.

$$S_{jj} = \left( \frac{a_i}{a_i^T U} - \frac{b_i}{b_i^T U} \right) (K + M)^{-1} \left( - \frac{\partial (K+M)}{\partial (\ln \sigma_j) U} \right) \quad (2.37)$$

dimana  $a_i$  dan  $b_i$  adalah vektor kolom untuk menghitung medan listrik dan medan magnetik dalam kasus polarisasi- $\bar{E}$  dan  $\bar{H}$ -polarisasi untuk datum ke- $i$  dari  $u$ . Nilai  $a_i$  dibentuk dari penyederhanaan yang bernilai 1 pada posisi datum ke 1 dan 0



untuk node yang lainnya. Jika observasi tidak di letakkan secara tepat pada node *grid*, maka nilai medan diinterpolasi berdasarkan 2 node terdekatnya.

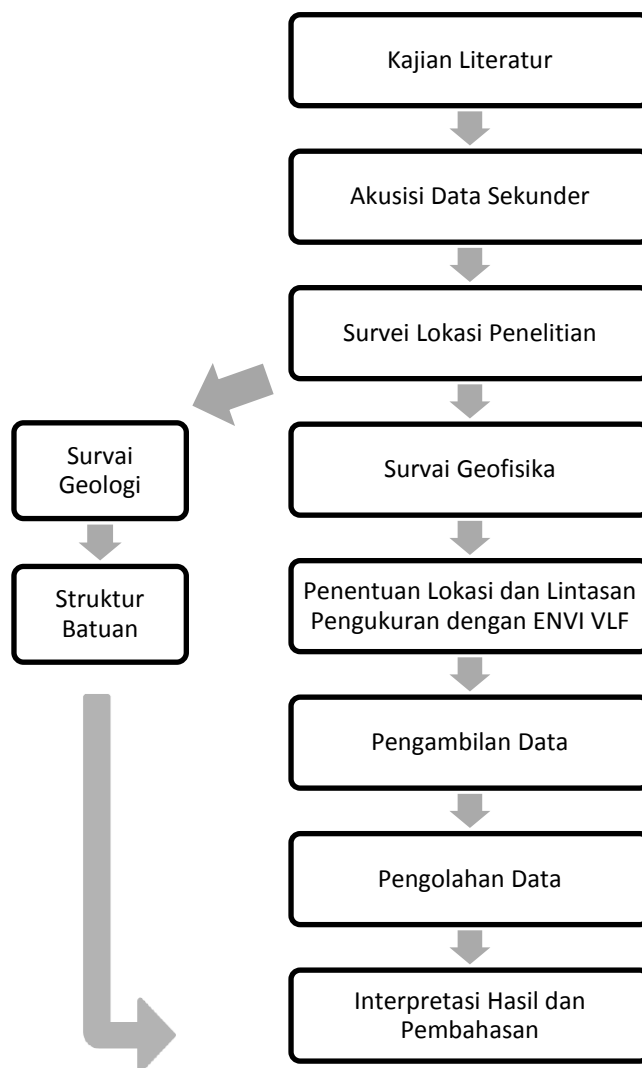
Dalam melakukan pemodelan hendaknya parameter yang dimasukkan disesuaikan dengan kondisi real lapangan, karena adakalanya hasil yang diperoleh dari pemodelan secara analitik memiliki error yang kecil, tetapi tidak sesuai dengan keadaan geologi sebenarnya, sehingga diperlukan data pendukung lainnya untuk memasukan parameter yang cocok.

*(“Halaman ini sengaja dikosongkan”)*

### **BAB III**

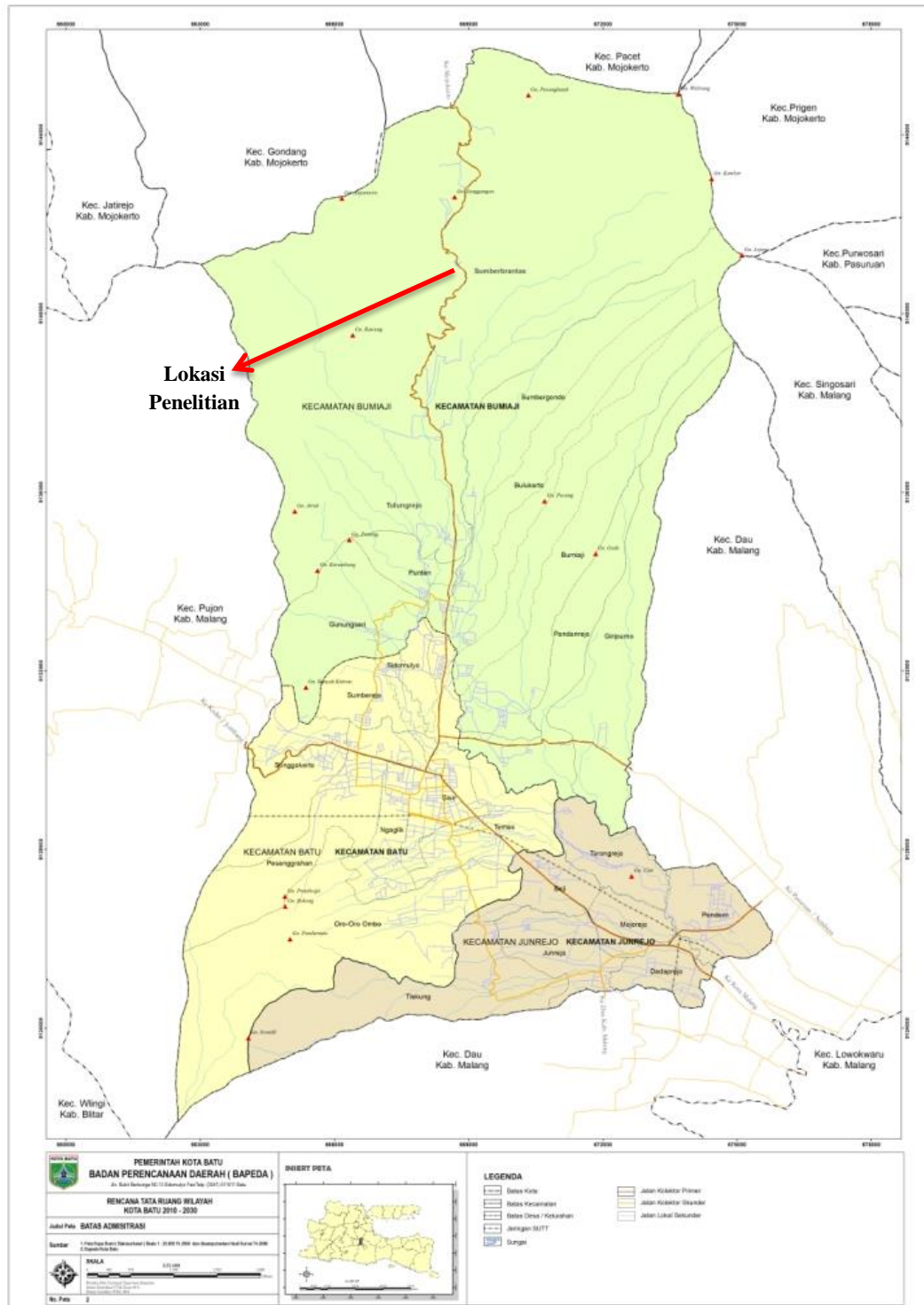
#### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada penelitian kali ini tahap pertama yang akan dilakukan adalah kajian literatur. Untuk lebih memahami, dapat diperhatikan diagram alir berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## 1.1 Kondisi Geografi dan Geologi Daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Cangar



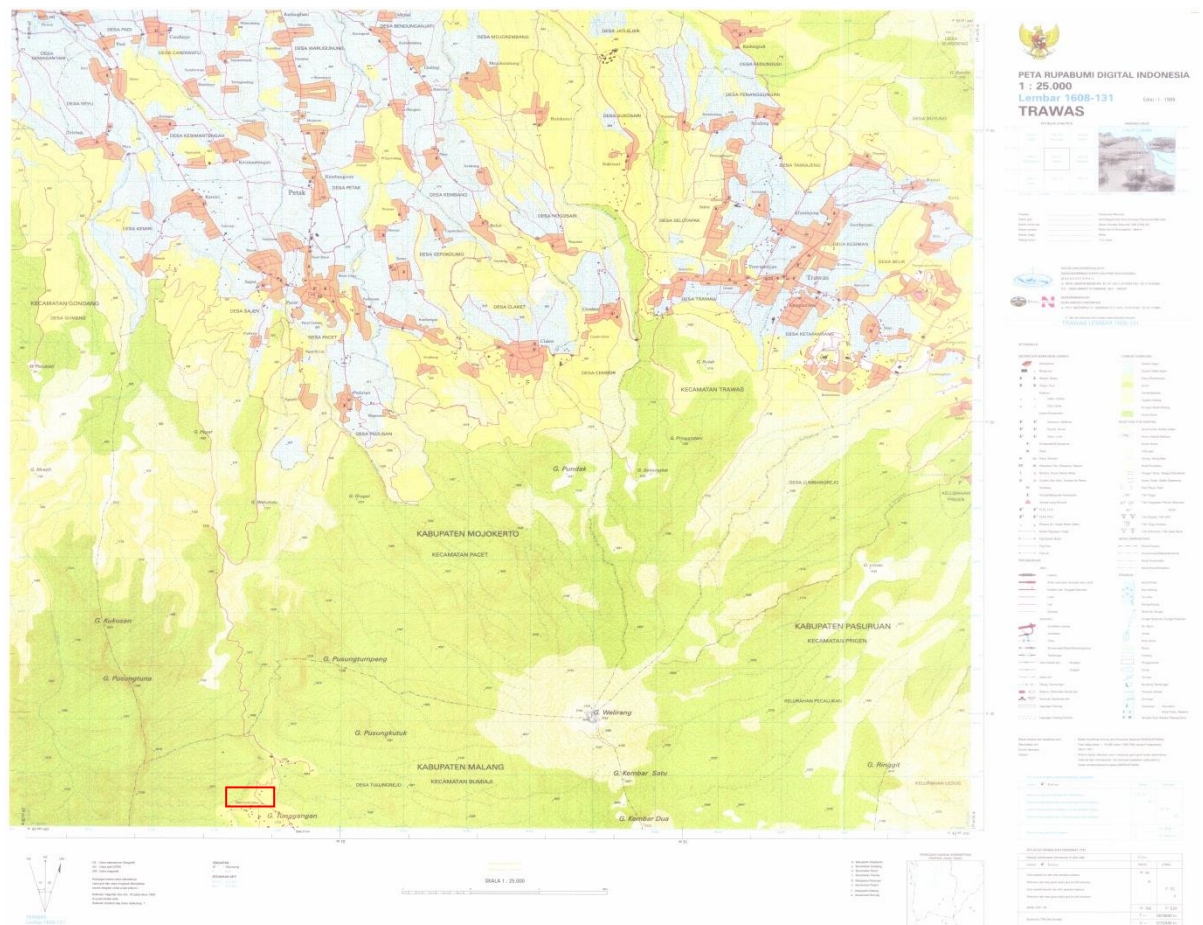
Sumber: [http://ppsp.nawasis.info/dokumen/profil/profil\\_kota/kota.batu/](http://ppsp.nawasis.info/dokumen/profil/profil_kota/kota.batu/)

Gambar 3.2 Peta Administrasi Kota Batu.

Obyek Wisata Alam Air Panas Cangar secara administrasi pemerintahan terletak di Desa Sumberbrantas, Kecamatan Bumiaji, Kota Batu, Propinsi Jawa Timur (Monograi Desa, 2010). OWA Air Panas Cangar merupakan bagian dari Tahura R. Soerjo yang secara geografis terletak pada  $7^{\circ} 40' 10''$  -  $7^{\circ} 49' 31''$  LS dan  $112^{\circ} 22' 13''$  -  $112^{\circ} 46' 30''$  BT. Tahura R. Soerjo secara keseluruhan memiliki konfigurasi bervariasi antara dataran, berbukit dan gunung-gunung dengan ketinggian antara 1.000 - 3.000 m dpl. Menurut klasifikasi iklim Schmid dan Ferguson (1951), Tahura R. Soerjo termasuk tipe iklim C dan D dengan curah hujan rata-rata 2.500 - 4.500 mm per tahun. Suhu udara pada malam hari berkisar antara  $50^{\circ}\text{C}$  -  $100^{\circ}\text{C}$  dan pada musim kemarau mencapai  $40^{\circ}\text{C}$ . Kelembaban udara cukup tinggi yaitu berkisar antara 42 - 45 % terendah dan tertinggi dapat mencapai 90 - 97%, sedangkan tekanan udara berkisar antara 1.007 - 1017,5 mm Hg. Jenis tanah yang ada termasuk regosol yang berasal dari abu vulkanis intermedia dengan warna coklat kekuningan dan bersifat sangat peka terhadap erosi (Profil Tahura R. Soerjo, 2010).

Dari gambar 3.3 ditunjukkan lokasi penelitian dengan diberi kotak merah yang merupakan desa Sumberbrantas, sehingga terlihat pada peta topografi bahwa desa Sumberbrantas terletak di wilayah barat daya lereng gunung Arjuno yang merupakan daerah pegunungan dengan spesifik ketinggian pada 1.400 - 1.700 dpl dan desa ini mempunyai hamparan lahan pertanian yang memberikan kesejahteraan bagi masyarakatnya. Di desa Sumberbrantas terdapat mata air sungai brantas yang mengalir ke 9 (Sembilan) kabupaten di Jawa timur. Dengan luas desa ini sekitar 541,1364 Ha, dengan batas wilayahnya sebagai berikut:

1. Sebelah utara adalah hutan atau kabupaten Mojokerto.
2. Sebelah timur adalah gunung Arjuno.
3. Sebelah selatan adalah desa Tulungrejo
4. Sebelah barat adalah hutan atau gunung Anjasmoro.



Sumber: Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional, 1999.

Gambar 3.3 Peta Topografi (a) Lokasi Penelitian secara Umum (b) Spesifik Lokasi Penelitian yang di Perkecil dari Ukuran Asli.

### **3.2 Tahapan Penelitian**

Penelitian struktur bawah permukaan daerah wisata pemandian air panas Cangar terbagi atas beberapa tahapan yaitu:

Tahap 1: Kajian literatur.

Kajian literatur diambil dari beberapa sumber, baik dari buku, jurnal, internet, artikel maupun data-data lain terkait dengan penelitian. Manfaatnya adalah dapat membantu pemahaman lebih dalam tentang penelitian yang akan dilakukan.

Tahap 2 : Akusisi data sekunder.

Tahapan ini dilakukan dengan pengumpulan data-data terkait penelitian dan menggunakan peta administrasi dan peta topografi dari daerah Cangar desa Sumberbrantas Kota Batu Provinsi Jawa Timur.

Tahap 3 : Survei lokasi penelitian.

Dalam penelitian ini untuk penentuan lokasi survei dibagi menjadi dua bagian yaitu survei geologi dan survei geofisika. Survei geologi dilakukan untuk memperoleh informasi geologi dari daerah penelitian, tepatnya untuk penentuan bentuk morfologi batuan yang diamati secara langsung ataupun berdasarkan hasil output dari olahan data pada survei geofisika. Sebaliknya, untuk survei geofisika dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui titik- titik dari lokasi penelitian serta panjang lintasan yang akan dilakukan pengukuran. Dan sudah dilakukan survei lokasi penelitian pada tanggal 20 Januari 2015.

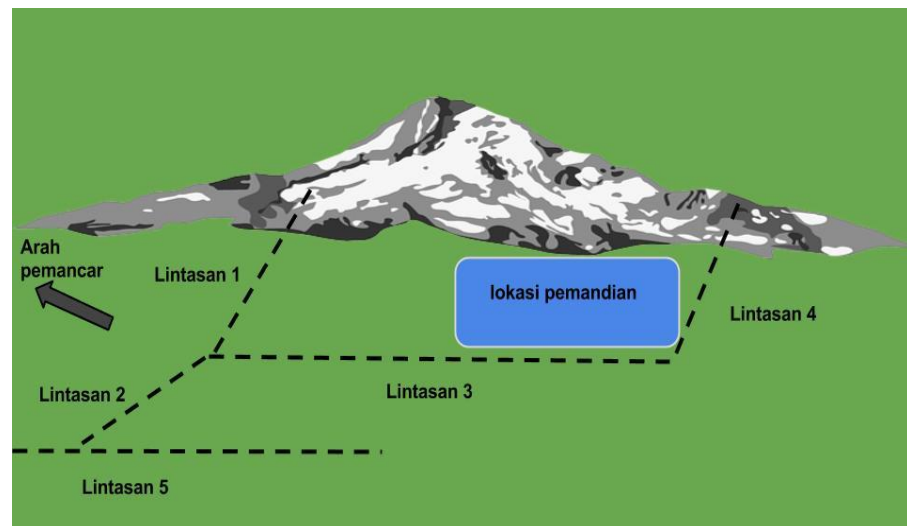
Tahap 4 : Pengambilan data.

Dalam melakukan penelitian untuk proses pengambilan data dibutuhkan peralatan yang menunjang pengukuran yaitu satu set alat ukur ENVI VLF, enam buah baterai kering, peta lapangan baik peta topografi maupun peta topologi, rollmeter plastik (non metal), kompas geologi



untuk pengukuran data struktur geologi setempat atau pengukuran arah lintasan, dan GPS untuk mengetahui lokasi titik ukur secara global. Lokasi yang dipilih dalam penelitian kali ini adalah daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo yang bertempat di desa Sumberbrantas dusun Cangar Kota Batu. Waktu yang tepat dalam pengambilan data yaitu pada pukul 06.00 pagi hingga 11.00 siang.

Metode yang dipilih dalam melakukan pengukuran adalah metode VLF. Untuk penelitian direncanakan ada lima lintasan yang masing-masing lintasannya memiliki panjang yang bervariasi dalam satuan meter dan spasi jarak titik tiap satu lintasan yaitu 3 meter.



Gambar 3.4 Sketsa Lintasan Pengukuran

Pada satu pengukuran arah pemancar selalu sama (menghadap arah tertentu) seluruh lintasan ukur menghindari pembalikan pembacaan medan.



Tabel 3.1 Tabel Parameter Akusisi Data

Jumlah area pengukuran	1 area
Jumlah lintasan	5 lintasan
Panjang lintasan	Lintasan 1 yaitu 207 meter, Lintasan 2 yaitu 153 meter, Lintasan 3 yaitu 201 meter, Lintasan 4 yaitu 159 meter, Lintasan 5 yaitu 126 meter
Spasi antara titik pada satu lintasan	3 meter
Data yang didapat	Inphase dan quadrature

Dalam melakukan pengukuran dibutuhkan koordinat lokasi dengan GPS untuk menentukan titik pengukuran secara global, dengan koordinat awal lokasi yang akan digunakan adalah yang di tampilkan pada tabel 3.2 yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.2 Tabel Lokasi Koordinat

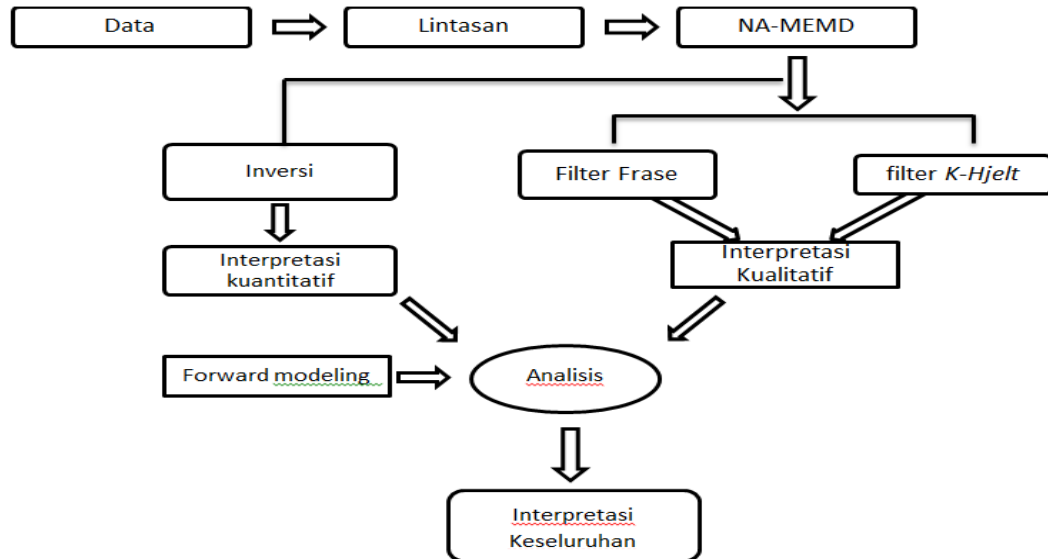
No. Lintasan	Nama Lokasi Lintasan	Koordinat
1	GEO 1 Joging Track	<i>S 070 44' 26,5" E 1120 32' 04,3"</i>
2	GEO 2 Jalan Masuk	<i>S 070 44' 22,3" E 1120 32' 00,7"</i>
3	GEO 3 Taman	<i>S 070 44' 30,4" E 1120 32' 01,9"</i>
4	GEO 4 Joging Track	<i>S 070 44' 32,2" E 1120 32' 02,8"</i>
5	GEO 5 Jalan Raya	<i>S 070 44' 22" E 1120 31' 58'</i>



Gambar 3.5 Alat ukur ENVI VLF, Kompas, dan GPS.

Prosedur pengukuran yaitu sebelum melakukan pengukuran sebaiknya dilakukan pengecekan semua kabel-kabel penghubung agar terpasang dengan benar. Kutub-kutub batere harus terpasang dengan benar (kutub positif dengan kabel positif dan kutub negatif dengan kabel negatif). Sebelum memulai pengukuran dengan instrumentasi VLF, VLF harus dibooting dulu untuk mencari stasiun gelombang VLF di daerah yang akan diukur, lalu melakukan pengukuran.

## 1.2 Sistematika Pengolahan Data



Gambar 3.6 Bagan Alir Sistematika Pengolahan Data.

Setelah pengukuran selesai dilakukan, data yang telah diperoleh pada saat pengukuran akan diinput ke dalam komputer, data yang telah diperoleh tidak dapat dipilih melainkan seluruh data diketik semua ke komputer pada Ms. Excel untuk data sintetik awal.

Sehingga untuk pengeditan, pengolahan, tampilan, pemilihan data VLF dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak (software) dalam penelitian ini antara lain:

1. Inv2DVLF, program ini digunakan untuk melakukan pemodelan ke belakang data VLF. Input program ini adalah data lapangan yang terdiri dari inphase dan quadrature, data topografi dan *mesh finite element* yang digunakan untuk melakukan pemodelan ke belakang. Output dari program ini adalah data model resistivitas bawah permukaan, data model sensitifitas, dan data respon inphase dan quadrature dari model resistivitas hasil inversi.
2. Pre2DForw, program ini digunakan untuk melakukan pemodelan ke depan (*forward modelling*) dari model resistivitas bawah permukaan. Input program ini adalah parameter model, *mesh finite element*, data topografi dan data lintasan

pengukuran. Output dari program ini adalah data respon pengukuran VLF dari model yang dibuat berupa inphase dan quadrature.

3. MATLAB 7, program ini digunakan untuk melakukan pengolahan data VLF (koreksi topografi, *moving average*, filter *Fraser*, dan filter *Karous-Hjelt*) dan menampilkan output dari program Inv2DVLF dan Pre2Dforw.

4. Surfer 9, merupakan salah satu perangkat lunak produk Golden Software, Inc. Digunakan untuk pembuatan peta kontur dan pemodelan dua atau tiga dimensi yang didasarkan atas *grid*. Perangkat lunak ini berperan besar dalam pemetaan kawasan. Meskipun canggih, perangkat ini tidak banyak menuntut untuk sistem operasi maupun perangkat keras.

Sebelum menerapkan data pada software Inv2DVLF, data harus diolah dengan menggunakan NA-MEMD untuk menghilangkan *noise* pada data VLF EM dengan tahapan sebagai berikut:

1. Buat *gaussian white noise* sebanyak 1-channel.
2. Tambahkan 1-channel *gaussian white noise* pada input multivariate (n-channel).
3. Memproses  $(n + 1) - \text{channel}$  sinyal multivariate dengan menggunakan algoritma MEMD untuk memperoleh IMF multivariate.
4. Dari IMF  $(n + 1) - \text{variasi}$  yang dihasilkan, Buang 1 channel yang sesuai dengan *noise* sehingga didapatkan n-channel IMF yang sesuai dengan sinyal asli.

Setelah diolah, data dapat dimasukkan kedalam software Inv2DVLF untuk melihat model inversi 2D dari resistivitas bawah permukaan.

### 3.4 Jadwal Kegiatan Penelitian

Dalam melakukan penelitian perlu untuk menyusun jadwal penelitian supaya proses penelitian dapat berjalan dengan teratur dan rapih. Berikut ini merupakan jadwal kegiatan untuk penelitian mengenai penentuan struktur bawah permukaan daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo Cangar Kota Batu Provinsi Jawa Timur.

Table 3.3 Tabel Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan Penelitian	Tahun Penelitian								
		2014		2015						
		Nov	Des	Jan	Feb	Maret	April	Mei	Juni	Juli
1	Kajian literatur									
2	Persiapan alat dan pengambilan data									
3	Penulisan proposal									
4	Seminar proposal									
5	Analisis dan interpretasi data									
6	Penulisan laporan tesis									
7	Publikasi tesis									

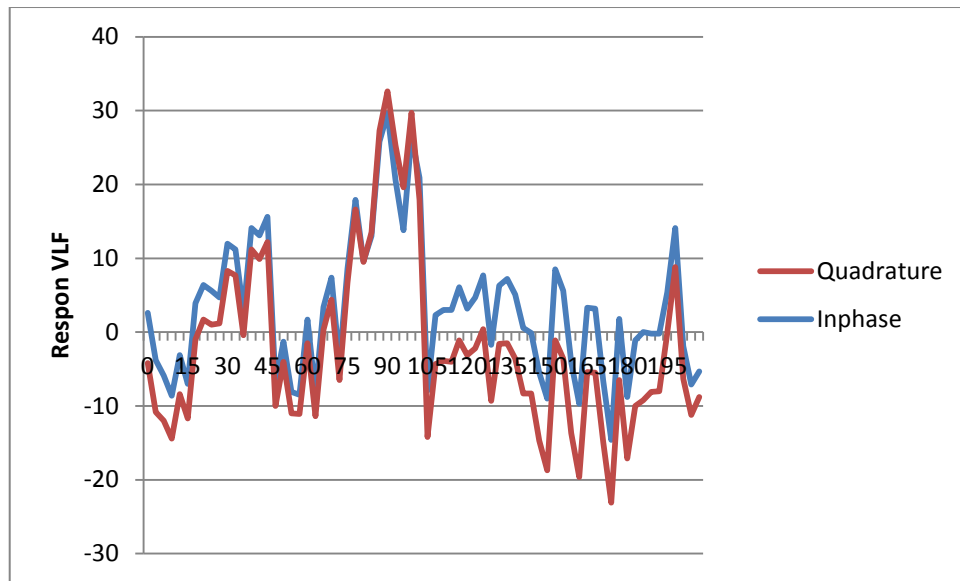
Keterangan : untuk setiap kolom yang berwarna abu-abu menunjukkan waktu kegiatan.

*(“Halaman ini sengaja dikosongkan”)*

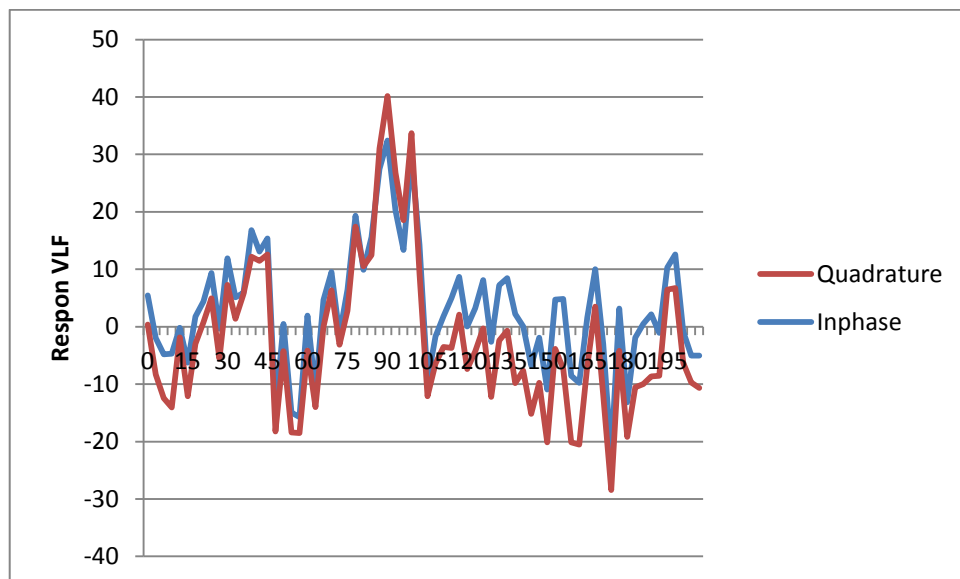
## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

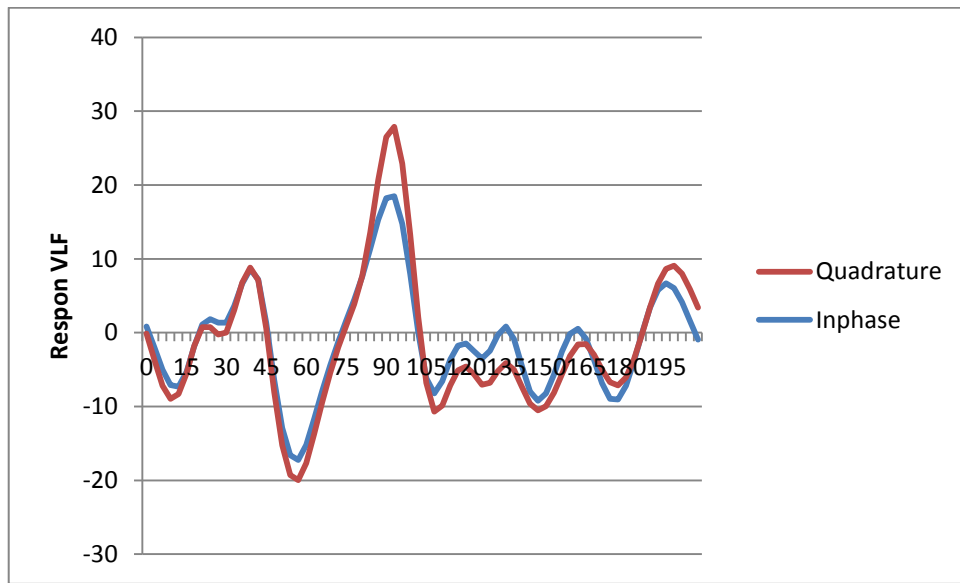
Setelah melakukan pengolahan data pada data yang diperoleh dari pengukuran lapangan, dengan sistematika pengolahan yang sudah dijelaskan pada sub bab 3.2 maka diperoleh hasil olahan sebagai berikut:



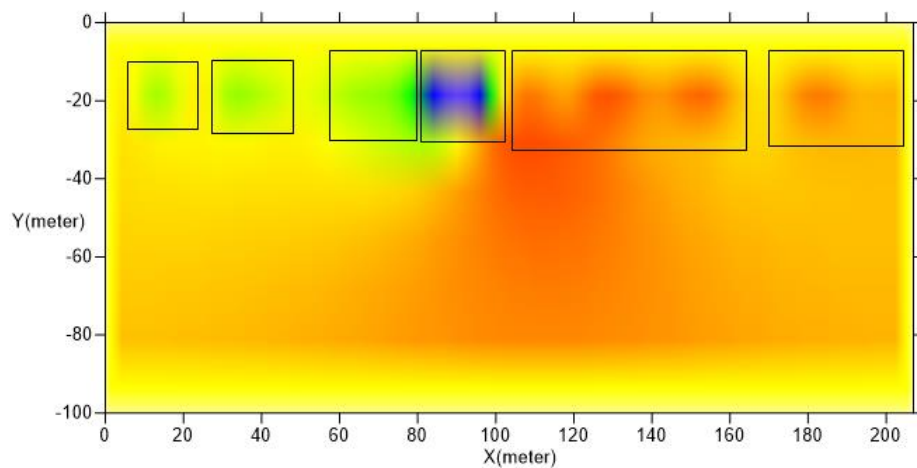
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.1 Respon VLF EM, (a) Grafik lintasan 1 tanpa penambahan WNG (b) Grafik lintasan 1 dengan penambahan WNG (c) Grafik lintasan 1 dengan penambahan WNG yang telah difilter dengan NA-MEMD (d) Model Resistivitas hasil pemodelan kedepan pada lintasan 1.

Dalam pemodelan ke depan dilakukan penambahan WNG (White Noise Gaussian) pada data original VLF EM, dalam hal ini dilakukan pada salah satu lintasan yaitu lintasan 1, untuk menjadi acuan dalam melakukan interpretasi pada pemodelan ke belakang. Pada data lintasan 1 tanpa penambahan WNG (gambar

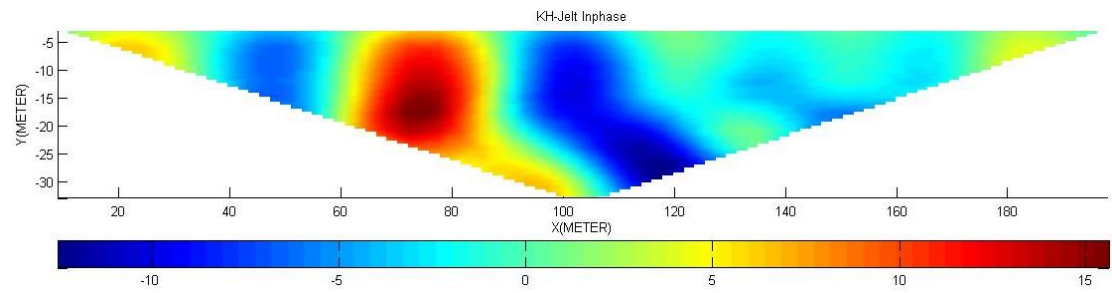


4.1 (a)) menjelaskan bahwa data asli dari pengukuran di lapangan mengandung banyak *noise* (gangguan) sehingga data ini harus difilter untuk mengurangi *noise* pada data lapangan untuk memperoleh sinyal aslinya. Beberapa faktor yang menyebabkan data mengandung *noise* yaitu:

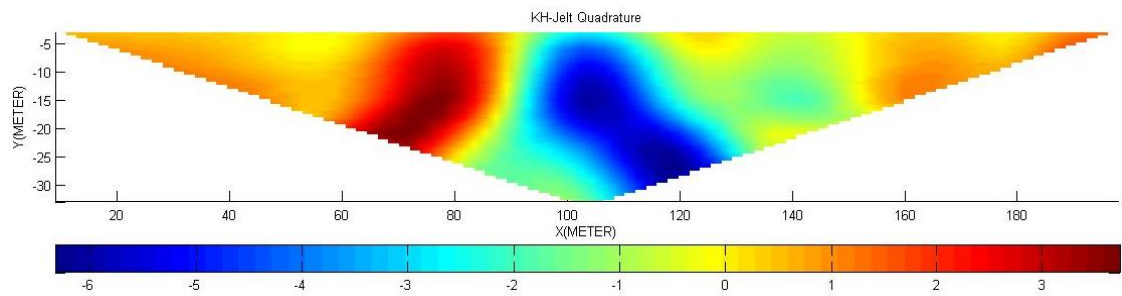
1. Kondisi geologi sekitar.
2. Pada saat pengambilan data di lapangan banyak aktivitas manusia yang berlangsung seperti lalu lalanganya pejalan kaki, penggunaan telpon genggam, banyaknya kendaraan yang lewat, dan sebagainya.
3. Lokasi pengambilan data yang berdekatan dengan sumber listrik seperti saat pengambilan data dan melewati tiang listrik yang mempengaruhi sinyal yang akan ditangkap oleh instrumentasi ENVI VLF dan masih banyak faktor penyebab data mengandung *noise*.

Pada gambar 4.1 (b), menjelaskan bahwa pada saat penambahan WNG pada data, menyebabkan *noise* (gangguan) pada data VLF EM lintasan 1 ini menjadi bertambah besar, dimana penambahan WNG merupakan salah satu metode pembangkitan *noise* yang akan menghasilkan *noise* yang berdistribusi normal. Kemudian data yang diberikan penambahan WNG difilter menggunakan filter NA-MEMD untuk mengurangi *noise* yang menghasilkan data yang lebih halus yang ditunjukkan pada gambar 4.1 (c), dalam hal ini, dari hasil penambahan WNG pada data lintasan 1 yang difilter NA-MEMD dengan hasil pemfilteran NA-MEMD pada data asli lintasan 1 tanpa penambahan WNG yang dapat dilihat pada lampiran A.1 memberikan hasil gambaran respon VLF EM yang hampir sama.

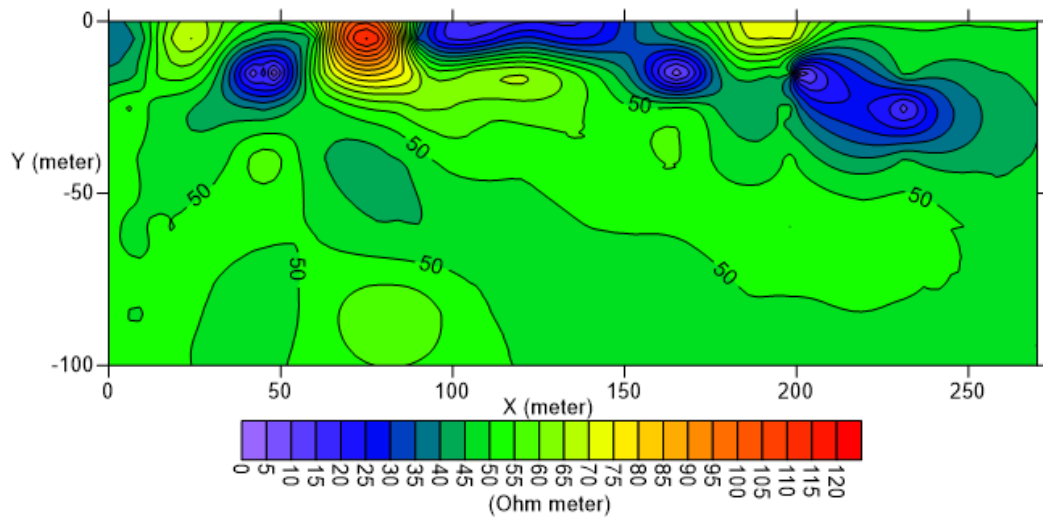
Hasil pemfilteran NA-MEMD pada data yang ditambahkan WNG kemudian dimasukkan ke dalam program surfer 9 untuk melihat bentuk model resistivitas 2D pemodelan ke depan (gambar 4.1 (d)) dan terlihat bahwa terdapat beberapa anomali pada daerah lintasan 1 yang ditunjukkan oleh beberapa kontur warna yang sudah diberikan tanda kotak, yaitu terdapat sekitar 3 (tiga) kontur warna yang berbeda yaitu hijau, biru dan merah. Hal ini menjelaskan bahwa pada lintasan 1 ini terdapat jebakan atau patahan yang menyimpan jenis material didalamnya. Hasil yang didapatkan ini akan menjadi masukan untuk proses pemodelan ke belakang dengan menggunakan program Inv2DVLF.



(a)



(b)



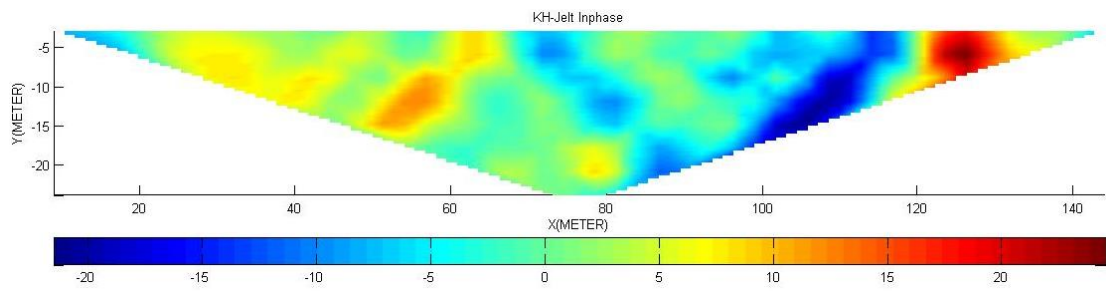
(c)

Gambar 4.2 Respon VLF EM sepanjang lintasan 1, (a) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Inphase, (b) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Quadrature, (c) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM.

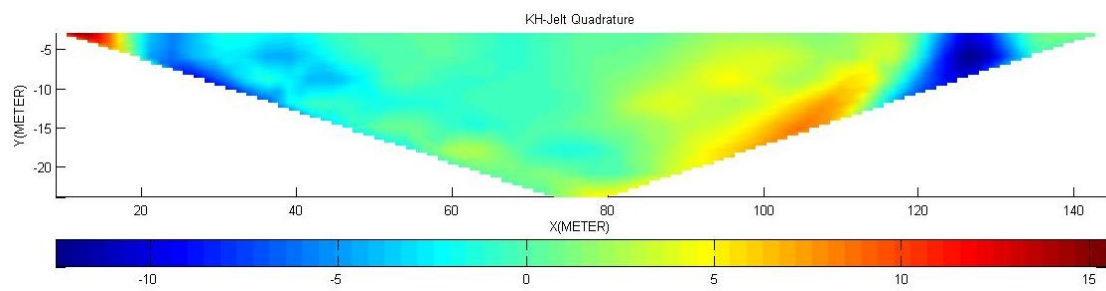
Berdasarkan hasil filter K-Hjelt respon inphase (gambar 4.2 a) menjelaskan bahwa pada kedalaman 0 meter sampai 25 meter pada titik sekitar 62 hingga 85 meter didapatkan indikasi adanya daerah konduktif dengan rapat arus ekuivalen yang tinggi. Sedangkan untuk hasil filter K-Hjelt respon quadrature pada gambar 4.2 (b) menunjukkan infleksi negatif, dimana daerah konduktif hampir memenuhi semua titik pada lintasan. Hasil inversi pemodelan 2D dengan metode VLF EM dan interpretasinya (gambar 4.2 c) menunjukkan nilai resistivitas batuan bawah permukaan di lintasan 1 berkisar antara 0  $\Omega\text{m}$  sampai 120  $\Omega\text{m}$  dengan nilai RMS yaitu 0,34. Pada lintasan 1 ini lebih didominasi oleh resistivitas 45  $\Omega\text{m}$  sampai 65  $\Omega\text{m}$  yang ditunjukkan oleh kontur warna hijau dimana nilai resistivitas ini menyatakan adanya jenis material pasir bercampur lempung yang menyimpan air yang mengalirkannya dalam jumlah terbatas, dengan identifikasi litologi bawah permukaan lintasan 1 terdapat beberapa anomali pada kedalaman 0 meter sampai 35 meter, yang dapat diamati melalui kontur warna yang ditunjukkan dengan besar nilai resistivitasnya yaitu:

1. 0  $\Omega\text{m}$  – 40  $\Omega\text{m}$  merupakan anomali rendah, menunjukkan daerah yang memiliki nilai resistivitas ini merupakan daerah yang didominasi dengan jenis material air tanah, pasir, lempung, alluvial, quartzise dan diabas
2. 70  $\Omega\text{m}$  – 120  $\Omega\text{m}$  merupakan anomali yang tinggi, menunjukkan pada daerah yang memiliki nilai resistivitas ini merupakan daerah yang didominasi dengan jenis material caps rock dan batuan gunung api yaitu andesit, porfiri, basalt, sekis, dan gneiss.

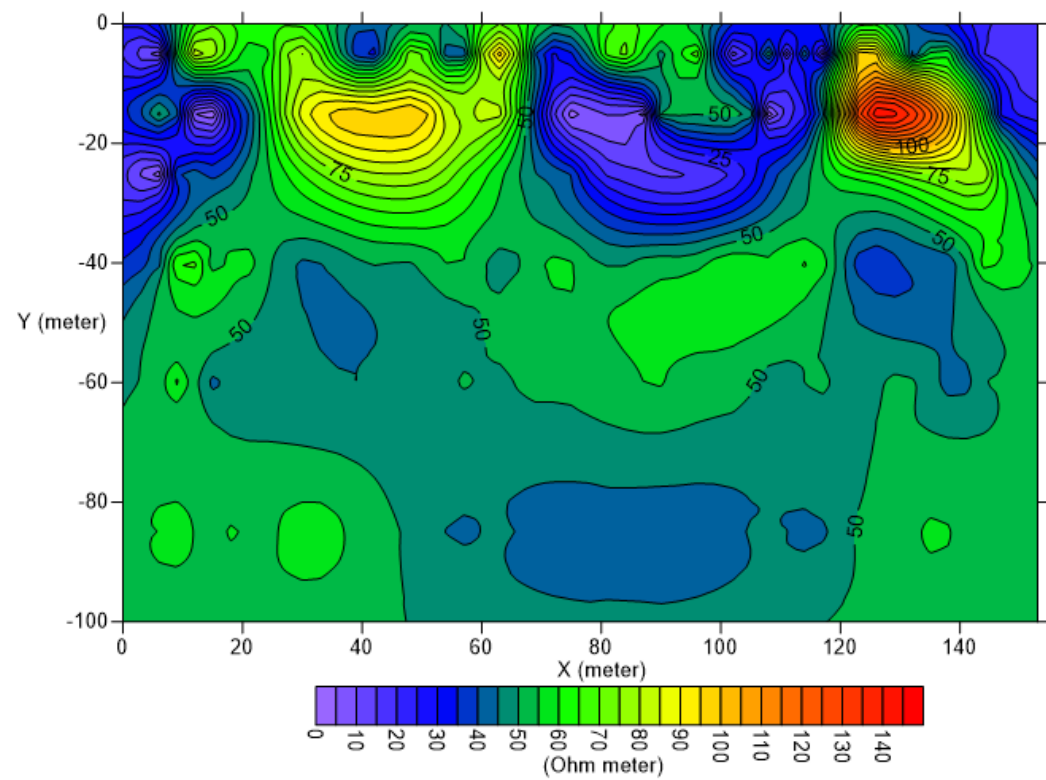
Berdasarkan peta kontur resistivitas hasil pemodelan 2D inversi diatas titik-titik akuisisi data diperkirakan merupakan daerah potensi panasbumi yang memiliki nilai resistivitas batuan 70  $\Omega\text{m}$  hingga 120  $\Omega\text{m}$  pada bagian permukaan dangkalnya (warna kuning hingga merah). Manifestasi panas bumi di permukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan- rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan. (R Syahrul dan Nazil Ismail, 2003)



(a)



(b)



(c)

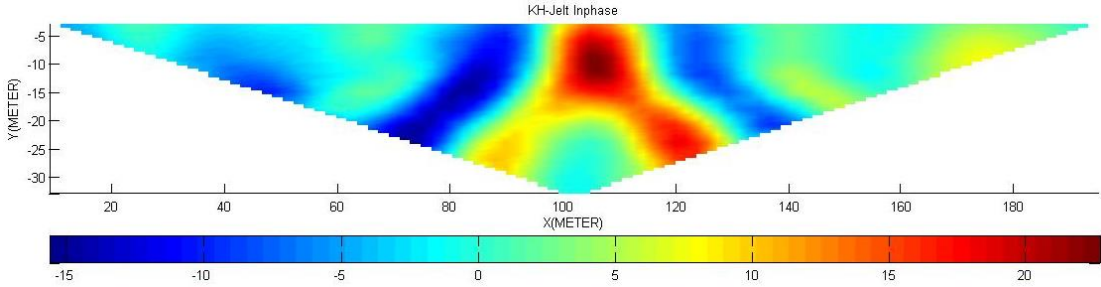
Gambar 4.3 Respon VLF EM sepanjang lintasan 2, (a) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Inphase, (b) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Quadrature, (c) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM.

Berdasarkan hasil filter K-Hjelt (gambar 4.3 a) menjelaskan bahwa pada kedalaman 0 meter sampai 12 meter pada titik sekitar 120 meter hingga 130 meter didapatkan indikasi adanya daerah konduktif dengan rapat arus ekivalen yang tinggi. Untuk hasil pemodelan 2D dan interpretasi (gambar 4.3 c) menunjukkan nilai resistivitas batuan bawah permukaan di lintasan 2 berkisar antara 0  $\Omega\text{m}$  sampai 150  $\Omega\text{m}$  dengan nilai RMSnya adalah 3,1. Berdasarkan hasil pemodelan resistivitas 2D pada lintasan 2 ini lebih di dominasi oleh nilai resistivitas 45  $\Omega\text{m}$  – 60  $\Omega\text{m}$  menunjukkan adanya jenis material pasir bercampur lempung yang menyimpan air yang mengalirkannya dalam jumlah terbatas, dengan identifikasi litologi bawah permukaan pada lintasan 2 ini terdapat beberapa anomali pada kedalaman 0 meter sampai 40 meter, yang dapat diamati melalui kontur warna yang ditunjukkan dengan besar nilai resistivitasnya yaitu:

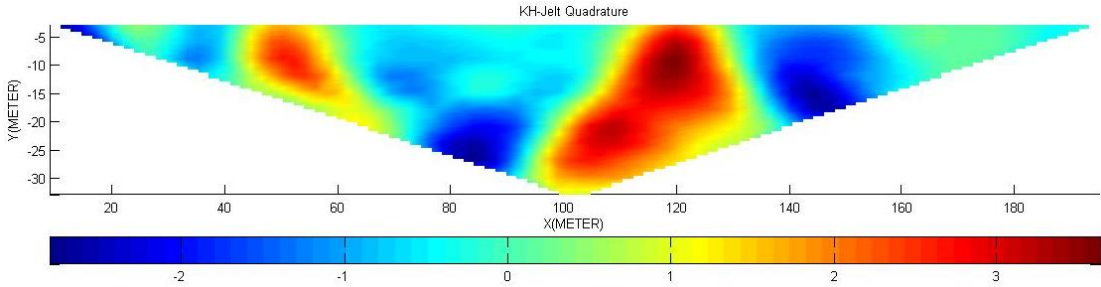
1. 0  $\Omega\text{m}$  – 45  $\Omega\text{m}$  merupakan anomali rendah, menunjukkan daerah yang memiliki nilai resistivitas ini merupakan daerah yang di dominasi dengan air tanah, pasir, lempung, alluvial, quartzise dan diabas
2. 60  $\Omega\text{m}$  – 95  $\Omega\text{m}$  merupakan anomali sedang, menunjukkan pada daerah yang memiliki nilai resistivitas ini merupakan daerah yang di dominasi dengan jenis material porfiri, andesit, basalt sekis, dan gneiss (batuan gunung api).
3. 100  $\Omega\text{m}$  – 150  $\Omega\text{m}$  merupakan anomali yang tinggi, menunjukkan pada daerah ini di dominasi dengan jenis material caps rock.

Berdasarkan peta kontur resistivitas hasil pemodelan 2D inversi diatas titik-titik akuisisi data diperkirakan merupakan daerah potensi panasbumi yang memiliki nilai resistivitas batuan sekitar 90  $\Omega\text{m}$  sampai 150  $\Omega\text{m}$  pada bagian permukaan dangkalnya(warna kuning hingga merah). Hal ini dapat dilihat secara spesifik

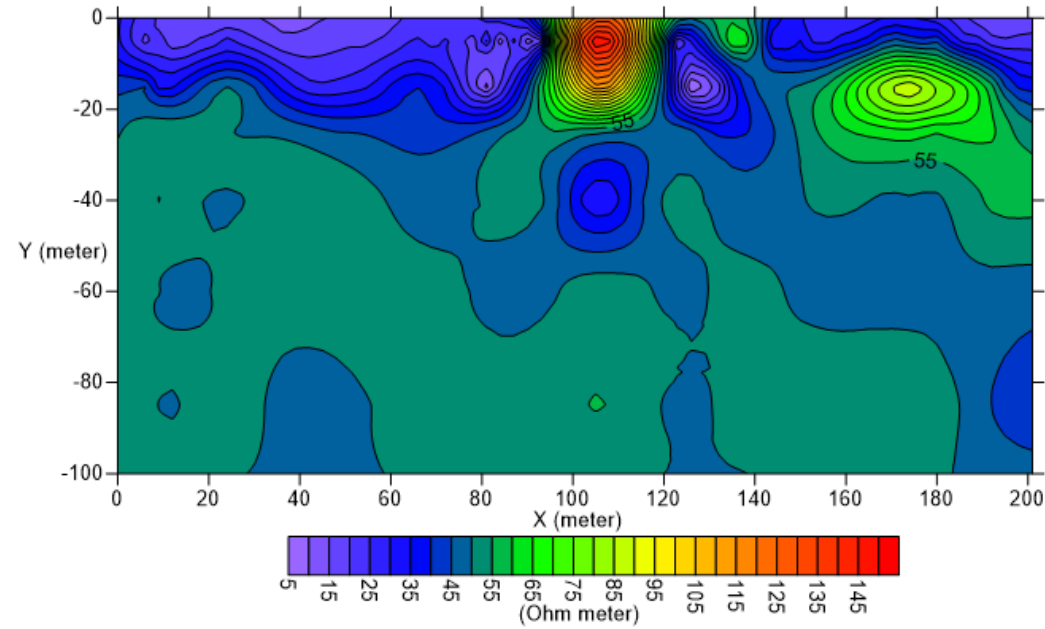
pada titik lintasan kira-kira 120 meter sampai 140 meter pada kedalaman sekitar 0 meter hingga 20 meter .



(a)



(b)



(c)

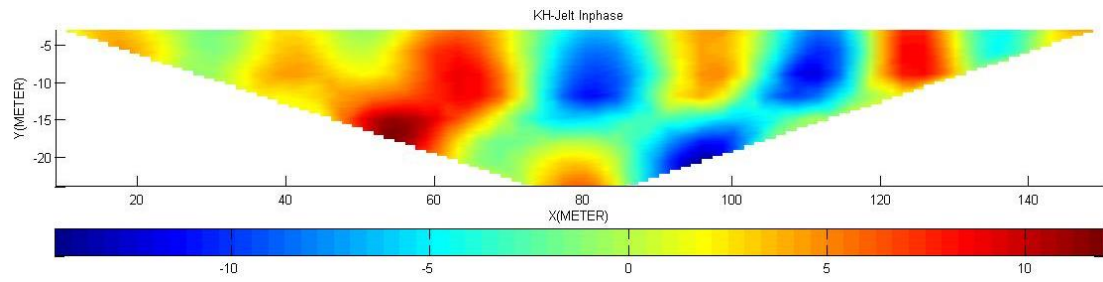
Gambar 4.4 Respon VLF EM sepanjang lintasan 3, (a) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Inphase, (b) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Quadrature, (c) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM.

Berdasarkan hasil filter K-Hjelt (gambar 4.4 a) menjelaskan bahwa pada kedalaman 0 meter sampai 15 meter pada titik sekitar 100 meter hingga 115 meter dan pada kedalaman 15 sampai 30 meter pada titik 115 meter hingga 120 meter didapatkan indikasi adanya daerah konduktif dengan rapat arus ekivalen yang tinggi. Untuk hasil pemodelan 2D dan interpretasi (gambar 4.4 c) menunjukkan nilai resistivitas batuan bawah permukaan di lintasan 3 berkisar antara 5  $\Omega\text{m}$  sampai 155  $\Omega\text{m}$  dengan nilai RMSnya adalah 1,05 yang lebih di dominasi oleh nilai resistivitas 45  $\Omega\text{m}$  – 50  $\Omega\text{m}$  menunjukkan adanya jenis material pasir bercampur lempung yang menyimpan air yang mengalirkannya dalam jumlah terbatas, dengan identifikasi litologi bawah permukaan pada lintasan 3 ini terdapat beberapa anomali pada kedalaman 0 meter sampai 40 meter, yang dapat diamati melalui kontur warna yang ditunjukkan dengan besar nilai resistivitasnya yaitu:

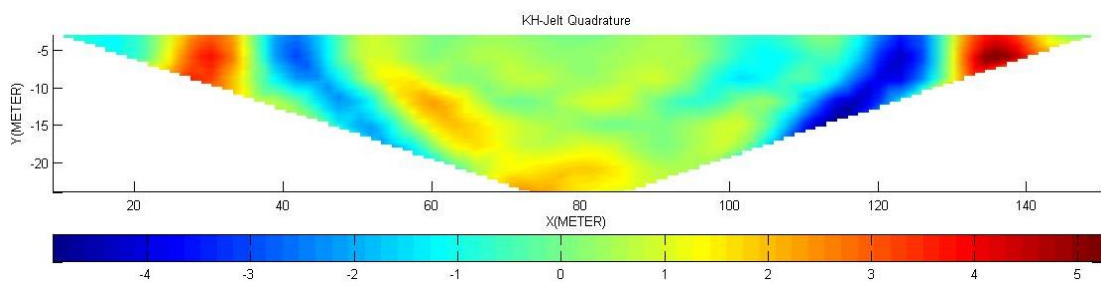
1. 5  $\Omega\text{m}$  – 40  $\Omega\text{m}$  merupakan anomali rendah, menunjukkan daerah yang memiliki nilai resistivitas ini merupakan daerah yang di dominasi dengan air tanah, pasir, lempung, alluvial, quartzise dan diabas
2. 55  $\Omega\text{m}$  – 85  $\Omega\text{m}$  merupakan anomali sedang, menunjukkan pada daerah yang memiliki nilai resistivitas ini merupakan daerah yang di dominasi dengan jenis material porfiri, andesit, basalt sekis, dan gneiss (batuan gunung api).
3. 90  $\Omega\text{m}$  – 150  $\Omega\text{m}$  merupakan anomali yang tinggi, menunjukkan pada daerah ini di dominasi dengan jenis material caps rock.

Berdasarkan peta kontur resistivitas hasil pemodelan 2D inversi diatas titik-titik akuisisi data diperkirakan merupakan daerah potensi panasbumi yang memiliki nilai resistivitas batuan 90  $\Omega\text{m}$  sampai 150  $\Omega\text{m}$  pada bagian permukaan

dangkalnya (warna kuning hingga merah). Hal ini dapat dilihat secara spesifik pada titik lintasan kira-kira 98 meter sampai 116 meter pada kedalaman sekitar 0 meter hingga 17.5 meter.

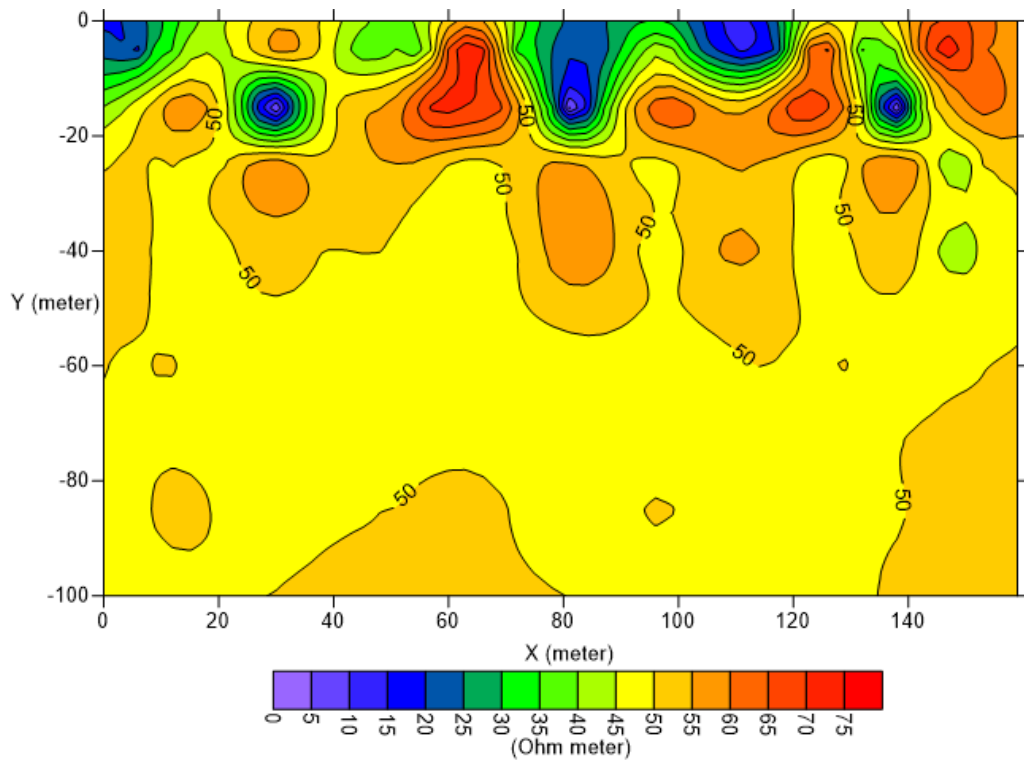


(a)



(b)





(c)

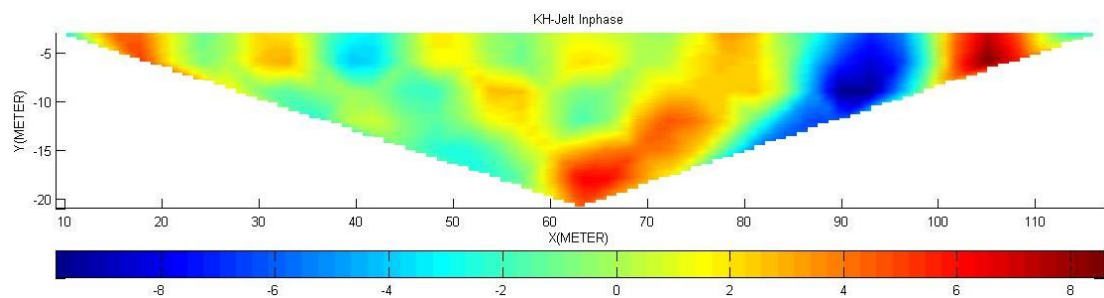
Gambar 4.5 Respon VLF EM sepanjang lintasan 4, (a) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Inphase, (b) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Quadrature, (c) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM.

Berdasarkan hasil filter K-Hjelt (gambar 4.5 a) menjelaskan bahwa pada kedalaman 0 meter sampai 20 meter pada titik sekitar 50 meter hingga 70 meter didapatkan indikasi adanya daerah konduktif dengan rapat arus ekuivalen yang tinggi yang ditunjukkan oleh kisaran nilai rapat arus ekuivalen dari 5  $\Omega\text{m}$  sampai 10  $\Omega\text{m}$ . Untuk hasil pemodelan 2D dan interpretasi (gambar 4.5 c) menunjukkan nilai resistivitas batuan bawah permukaan di lintasan 4 berkisar antara 0  $\Omega\text{m}$  sampai 80  $\Omega\text{m}$  dengan nilai RMS yaitu 1,04 dan pada lintasan ini lebih didominasi oleh nilai resistivitas 45  $\Omega\text{m}$  sampai 55  $\Omega\text{m}$  menunjukkan adanya jenis material batuan gunung api yaitu porfiri, andesit, basalt sekis, dan gneiss. Dengan identifikasi litologi bawah permukaan pada lintasan 4 ini terdapat beberapa

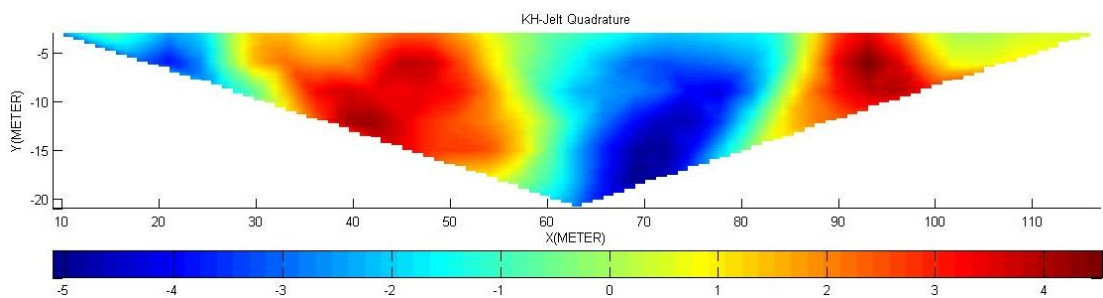
anomali pada kedalaman 0 meter sampai 20 meter, yang dapat diamati melalui kontur warna yang ditunjukkan dengan besar nilai resistivitasnya yaitu:

1.  $0 \, \Omega\text{m} - 40 \, \Omega\text{m}$  merupakan anomali rendah, menunjukkan daerah yang memiliki nilai resistivitas ini merupakan daerah yang didominasi dengan air tanah, pasir, lempung, alluvial, quartzite dan diabas
2.  $55 \, \Omega\text{m} - 80 \, \Omega\text{m}$  merupakan anomali tinggi, menunjukkan pada daerah yang memiliki nilai resistivitas ini merupakan daerah yang didominasi dengan jenis material caps rock.

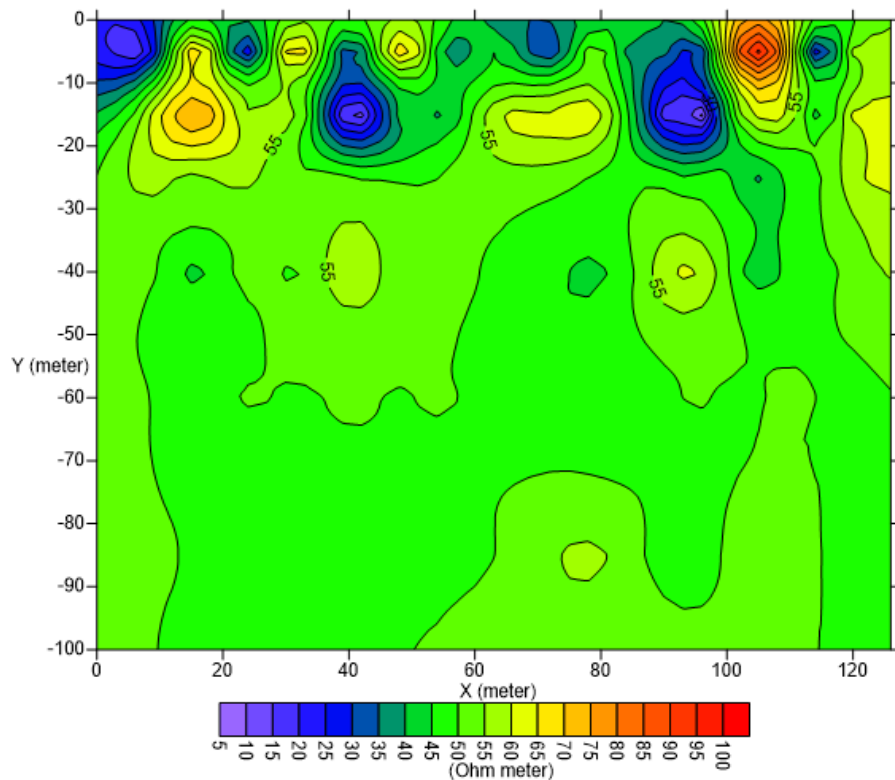
Berdasarkan peta kontur resistivitas hasil pemodelan 2D inversi diatas titik-titik akuisisi data diperkirakan merupakan daerah potensi panasbumi yang memiliki nilai resistivitas batuan  $55 \, \Omega\text{m}$  sampai  $80 \, \Omega\text{m}$  pada bagian permukaan dangkalnya (warna orange hingga merah).



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6 Respon VLF EM sepanjang lintasan 5, (a) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Inphase, (b) Rapat Arus Nyata yang Diperoleh dari K-Hjelt Filter Data VLF EM dalam % (E. Al-Tarazi et al. 2008) untuk Quadrature, (c) Model Resistivitas 2D dalam Ohm Meter yang Diperoleh dari Data Inversi VLF EM.

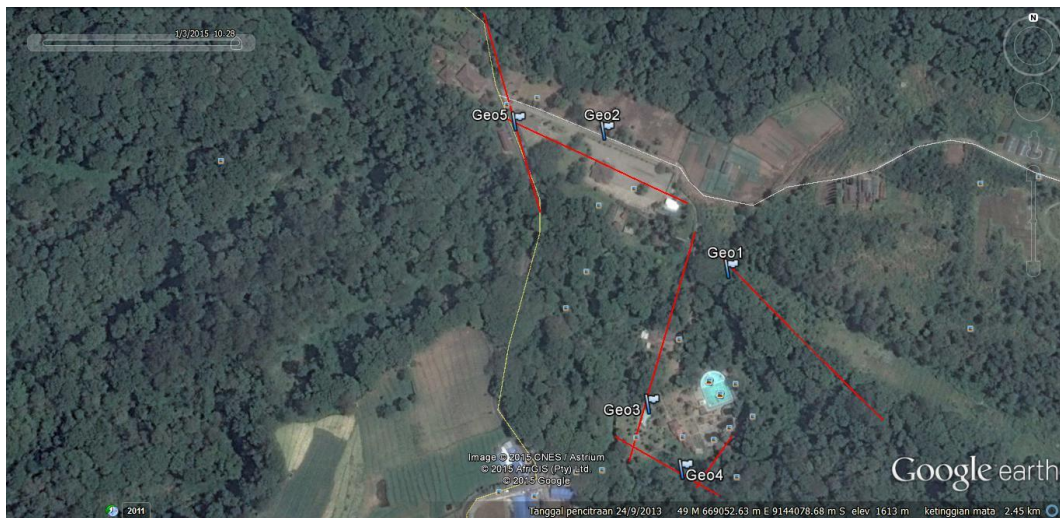
Berdasarkan hasil filter K-Hjelt (gambar 4.6 a) menjelaskan bahwa pada kedalaman 0 meter sampai 8 meter pada titik sekitar 100 meter hingga 110 meter didapatkan indikasi adanya daerah konduktif dengan rapat arus ekivalen yang tinggi yang ditunjukkan oleh kisaran nilai rapat arus ekivalen dari 6  $\Omega\text{m}$  sampai 8  $\Omega\text{m}$ . Untuk hasil pemodelan 2D dan interpretasi (gambar 4.6 c) menunjukkan nilai resistivitas batuan bawah permukaan di lintasan 5 berkisar antara 5  $\Omega\text{m}$  sampai 100  $\Omega\text{m}$  dengan nilai RMSnya adalah 1,3 dan pada lintasan ini lebih di dominasi oleh nilai resistivitas 40  $\Omega\text{m}$  hingga 55  $\Omega\text{m}$  menunjukkan adanya jenis material pasir bercampur lempung yang menyimpan air yang mengalirkannya dalam

jumlah terbatas. Dengan identifikasi litologi bawah permukaan pada lintasan 5 ini terdapat beberapa anomali pada kedalaman 0 meter sampai 20 meter, yang dapat diamati melalui kontur warna yang ditunjukkan dengan besar nilai resistivitasnya yaitu:

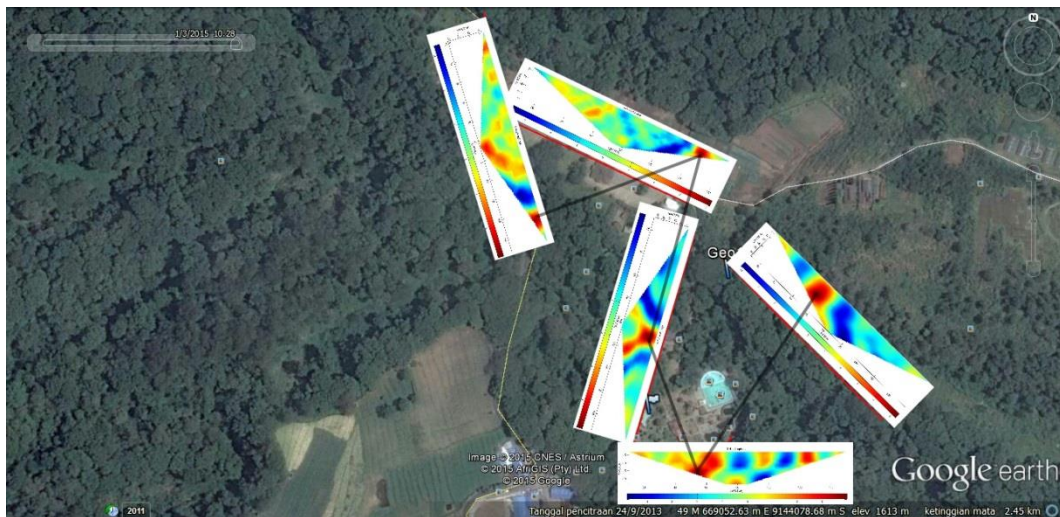
1.  $5 \Omega\text{m} - 35 \Omega\text{m}$  merupakan anomali rendah, menunjukkan daerah yang memiliki nilai resistivitas ini merupakan daerah yang didominasi dengan air tanah, pasir, lempung, alluvial, quartzite dan diabas.
2.  $55 \Omega\text{m} - 70 \Omega\text{m}$  merupakan anomali yang sedang, menunjukkan pada daerah yang memiliki nilai resistivitas ini merupakan daerah yang didominasi dengan jenis material batuan gunung api yaitu porfiri, andesit, basalt sekis, dan gneiss.
3.  $75 \Omega\text{m} - 100 \Omega\text{m}$  merupakan anomali tinggi, menunjukkan pada daerah yang memiliki nilai resistivitas ini merupakan daerah yang didominasi dengan jenis material caps rock.

Berdasarkan peta kontur resistivitas hasil pemodelan 2D inversi diatas titik-titik akuisisi data diperkirakan merupakan daerah potensi panasbumi yang memiliki nilai resistivitas batuan  $75 \Omega\text{m}$  sampai  $100 \Omega\text{m}$  pada bagian permukaan dangkalnya (warna orange hingga merah).

Berdasarkan hasil output dari pemodelan resistivitas 2D dari gambar 4.2 (c) hingga gambar 4.7 (c) dapat dihubungkan bahwa pada setiap lintasan di lokasi penelitian ini terdapat sumber potensi panas bumi di daerah bawah permukaan yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas yang tinggi dari setiap lintasan dengan kedalaman kurang lebih 0 meter hingga 25 meter.



(a)



(b)

Gambar 4.7 (a) Peta Lokasi Penelitian Berdasarkan Letak Koordinat. (b) Pemetaan Filter K-Hjelt Respon Inphase pada Lokasi Penelitian

Gambar 4.7 (a) merupakan gambar lokasi penelitian yang dihasilkan dari penggambaran dalam program *google earth* dengan cara memasukan titik koordinat setiap lintasan. Untuk gambar 4.7 (b) merupakan gambar pemetaan filter K-Hjelt respon inphase pada lokasi penelitian, dimana gambar ini menunjukkan hubungan daerah yang memiliki nilai konduktif yang tinggi tiap lintasan, perlu diketahui bahwa pada daerah yang berkonduktivitas tinggi terdapat jumlah kadar air yang tinggi pula karena pada daerah yang konduktif cenderung terdapat patahan atau rekahan di daerah tersebut, yang mana pada patahan tersebut

akan terdapat jebakan material didalamnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa jebakan material yang terdapat dalam daerah konduktif pada area lokasi penelitian ini merupakan sejumlah kadar air yang mengandung potensi panas bumi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa kadar air mempengaruhi sifat resistivitas dan konduktivitas batuan. Semakin besar kadar air maka resistivitas semakin kecil namun sifat konduktivitasnya semakin meningkat dan sebaliknya, semakin kecil kadar air maka sifat resistivitasnya semakin besar. Pada pemetaan ini terlihat bahwa arah daerah konduktivitas tinggi dimulai dari daerah yang luasan konduktivitas tingginya lebih luas hingga luasannya lebih kecil, untuk luasan yang luas dimulai dari 3 lintasan yaitu lintasan 1 merupakan daerah jogging track 1, lintasan 4 merupakan daerah jogging track 2, dan lintasan 3 yaitu area taman pemandian, lalu menuju lintasan 2 merupakan daerah jalan masuk dan yang terakhir yaitu lintasan 5 merupakan daerah jalan raya. Mengapa pada lintasan 2 dan 5 memiliki luas daerah konduktivitas tinggi yang kecil? Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: jarak antar sumber air panas dengan ke dua lintasan ini agak jauh sehingga semakin sedikit jumlah kadar air yang disimpan maka sifat konduktivitas dari daerah ini akan semakin kecil, yang mempengaruhi luasan daerah konduktivitasnya, namun untuk daerah ini memiliki resistivitas yang tinggi. Jika berdasarkan gambar 4.7 (b) diperkirakan arah sebaran air panasnya dimulai dari arah 3 lintasan yaitu lintasan 1, 3 dan 4 yang berada pada arah selatan, tersebar menuju lintasan 2 dan 5 pada arah utara.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengukuran, pengolahan data, analisis dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Filter K-Hjelt dapat mengidentifikasi daerah bawah permukaan Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo Cangar terdapat daerah yang konduktif dengan rapat arus ekuivalen yang tinggi. Sehingga pada daerah yang konduktif ini terdapat jebakan material yaitu sejumlah kadar air yang mengandung potensi panas bumi.
2. Hasil pemodelan resistivitas 2D menunjukkan bahwa pada daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo Cangar memiliki sebaran jenis material pada tiap lintasan yaitu pada lintasan 1 antara 0  $\Omega\text{m}$  sampai 120  $\Omega\text{m}$  dengan litologi bawah permukaannya terdiri atas air tanah, lempung, pasir alluvial, batuan gunung api (porfiri, basalt, sekis dan gneiss) serta caps rock. Pada lintasan 2 antara 0  $\Omega\text{m}$  sampai 150  $\Omega\text{m}$ , lintasan 3 antara 5  $\Omega\text{m}$  sampai 155  $\Omega\text{m}$ , lintasan 4 antara 0  $\Omega\text{m}$  sampai 80  $\Omega\text{m}$  dan lintasan 5 antara 5  $\Omega\text{m}$  sampai 100  $\Omega\text{m}$  dengan litologi bawah permukaan tiap lintasan terdiri atas air tanah, pasir, lempung, alluvial, quartzise, diabas, pasir campur lempung yang menyimpan air dalam jumlah terbatas, batuan gunung api (porfiri, basalt, sekis dan gneiss) serta caps rock.
3. Berdasarkan hasil output dari pemodelan resistivitas 2D dari gambar 4.2 (c) hingga gambar 4.7 (c) dapat dihubungkan bahwa pada setiap lintasan di lokasi penelitian ini terdapat beberapa anomaly, dengan salah satu anomaly menyatakan adanya sumber potensi panas bumi di daerah bawah permukaan yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas yang tinggi dari setiap lintasan dengan kedalaman kurang lebih 0 meter hingga 25 meter.

## **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang ada, maka disarankan bahwa jenis material yang telah ditentukan dapat menjadi sumber acuan dalam penelitian lebih lanjut pada daerah Taman Wisata Pemandian Air Panas Tahura R Soerjo Cangar dengan menggunakan metode pengukuran yang berbeda.



## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Tarazi E, J Abu Rajab, A Al-Naqa, dan M El-Waheid. (2008), "Detecting leachate plumes and groundwater pollution at Ruseifa municipal landfill utilizing VLF-EM method", *Journal of Geophysics*, Elsevier B.V, All right reserved.
- BLOM NARCOM COOPERATION. (1999), PETA RUPABUMI DIGITAL INDONESIA LOKASI TRAWAS 1 : 25.000, Edisi 1. Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional, Bogor.
- Bastarina, Anisa D. (2008), *Studi Korosi Pada Weldment Area Dan Base Metal Di Lingkungan Geotermal*, Fakultas Teknik UI, Depok.
- Fitriyaniti Unaya. (2012), *Sebaran Mata Air Panas di Kabupaten Serang*. Universitas Indonesia, Depok.
- Griffiths, David J. (1999), *Introduction to Electrodynamics*, 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall, USA.
- Ghufron. (2009), *ESTIMASI PENYEBARAN DEPOSIT FOSFAT DI WILAYAH PERUM PERHUTANI KPH PATI BKPH SUKOLILO PATI DENGAN METODE VERY LOW FREQUENCY ELEKTROMAGNETIK VERTICAL GRADIENT (VLF-EM-VGRAD)*. Fakultas MIPA, ITS. Surabaya.
- Hanik Fikri Maulida, Sutrisno Anggoro, Indah Susilowati. (2012), *Pengelolaan Wisata Alam Air Panas Cangar Di Kota Batu*, Program Pascasarjana Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang.
- [Http://desawisatasumberbrantas.blogspot.com/](http://desawisatasumberbrantas.blogspot.com/)
- [Http://ppsp.nawasis.info/dokumen/profil/profil\\_kota/kota.batu/](http://ppsp.nawasis.info/dokumen/profil/profil_kota/kota.batu/)
- [Http://www.scribd.com/doc/100861202/Nilai-Resistivitas](http://www.scribd.com/doc/100861202/Nilai-Resistivitas).
- Hunt, Roy E. (1984), *Geotechnical Engineering Investigation Manual*, New York, English.
- Istighfaroh H L, Sukir Maryanto, Fajar Rakhmant. (2012), *IDENTIFIKASI JENIS BATUAN BAWAH PERMUKAAN DAERAH SUMBER AIR PANAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK (STUDI KASUS PANASBUMI DAERAH TIRIS, KABUPATEN PROBOLINGGO JAWA TIMUR)*. Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Brawijaya. Malang

- Laboratorium Geofisika. (2001), *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika*, Teori Dan Aplikasi. Laboratorium Geofisika Fakultas MIPA, UGM. Yogyakarta.
- Loke M. H.(1999), *Introduction to Resistivity Surveys*, Penang, Malaysia.
- Mandic Danilo P, Norden E Huang, C Park, dan Neveed Ur Rehman. (2013), “EMD VIA MEMD: MULTIVARIATE NOISE-AIDED COMPUTATION OF STANDARD EMD”, *Advances in Adaptive Data Analysis*, Vol. 5, No. 2.
- R Juan PGN, A Syaeful Bahri, Teguh Hariyanto, dan Ira M A. (2014), “Aplikasi Metode VLF EM Untuk Memetakan Struktur Bawah Permukaan Tanah”, *STUDI KASUS LUSI PORONG SIDOARJO*, Vol 5, No. 1.
- R Syahrul dan Nazil Ismail. (2003), *Karakterisasi Struktur Dangkal pada Lapangan Panas Bumi Seulawah Agam Menggunakan Metode Very Low Frequency (VLF)*, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Şenel Leyla dan Murat Bayrak. (2012), *Two-Dimensional Resistivity Imaging in The Kestelek Boron Area by VLF and DC Resistivity Method*, Istanbul University, Engineering Faculty, Department of Geophysical Engineering. Turkey.
- Sungkono, Alwi Husein, Ayi S Bahri, Fernando A M Santos, dan Bagus J Santosa. (2014), “The VLF-EM imaging of potential collapse on the LUSI embankment”, *Journal Of Applied Geophysics*, Vol 5, No. 1.
- Suyanto Imam. (2007), *Analisis Data VLF (Very Low Frequency) Untuk Mengetahui Kemenerusan Pipa Gas Bawah Permukaan Di Gresik, Jawa Timur*, Laboratorium Geofisika F-MIPA UGM, Yogyakarta.
- Telford W M, Geldart L P, Sheriff R E, and Keys D A. (1990), *Applied Geophysics*, Cambridge University Press. London.
- UPT Tahura R. Soerjo. (2010), *Profil Taman Hutan Raya R. Soerjo. UPT Tahura R. Soerjo Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Timur*, Malang.

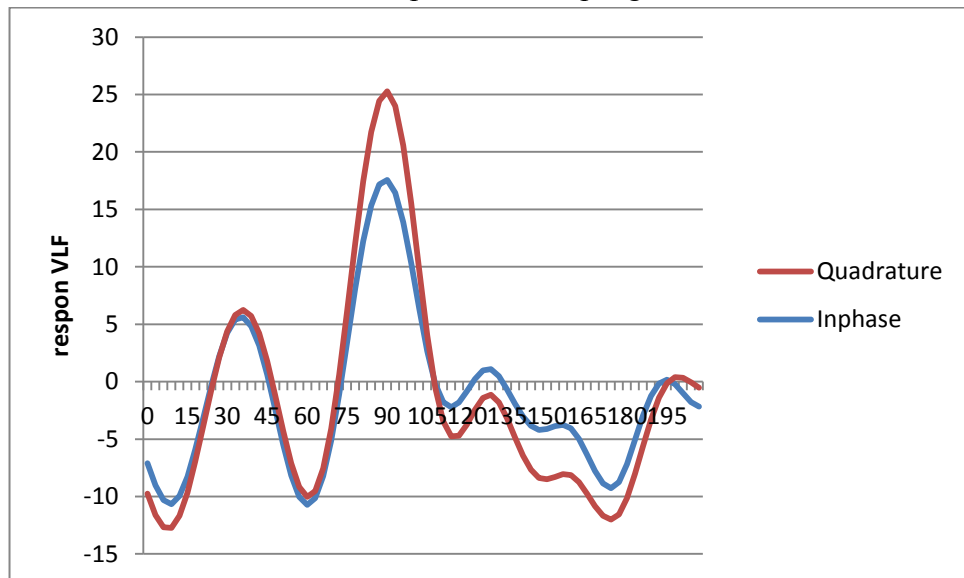
## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	.....	61
Lampiran B	.....	64
Lampiran C	.....	66
Lampiran D	.....	74
Lampiran E	.....	82
Lampiran F	.....	90
Lampiran G	.....	91

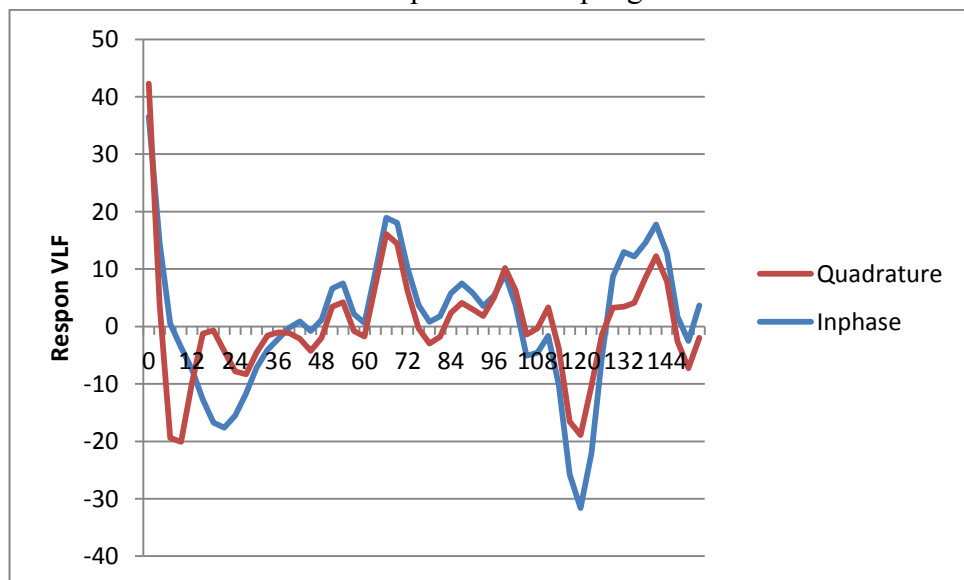
## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN A : Data Sintetik

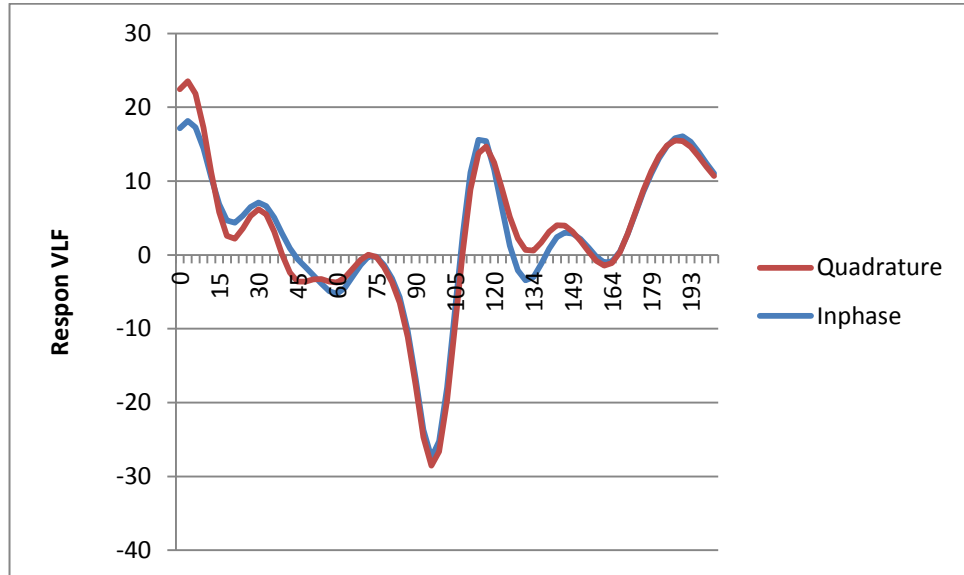
**Lampiran 1:** Hasil Filter NA-MEMD pada Data Lapangan VLF EM Lintasan 1



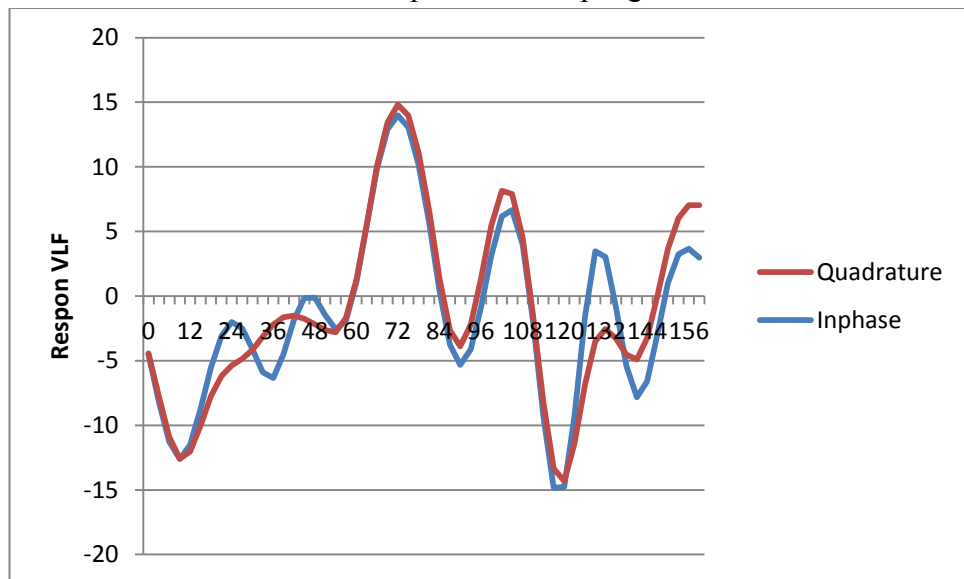
**Lampiran 2:** Hasil Filter NA-MEMD pada Data Lapangan VLF EM Lintasan 2



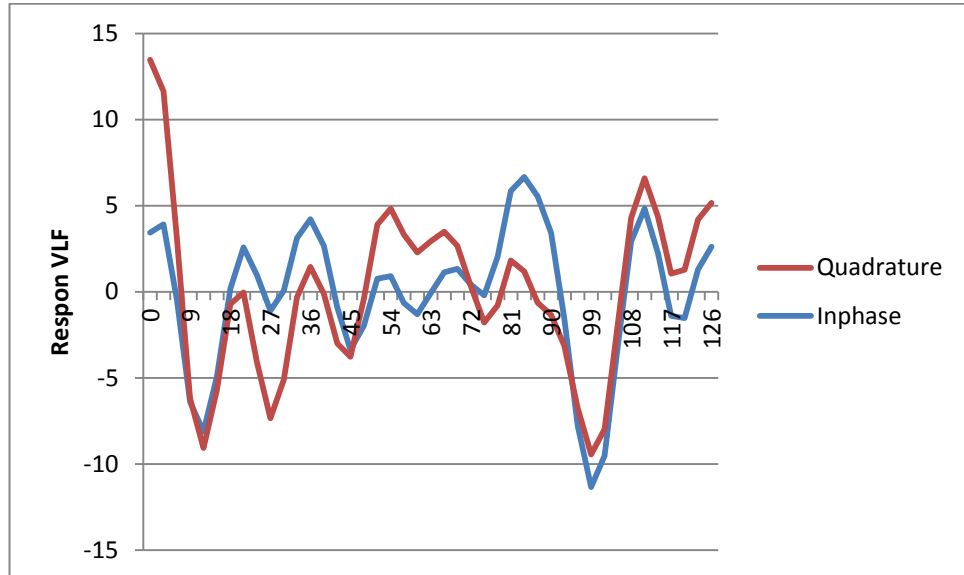
**Lampiran 3:** Hasil Filter NA-MEMD pada Data Lapangan VLF EM Lintasan 3



**Lampiran 4:** Hasil Filter NA-MEMD pada Data Lapangan VLF EM Lintasan 4

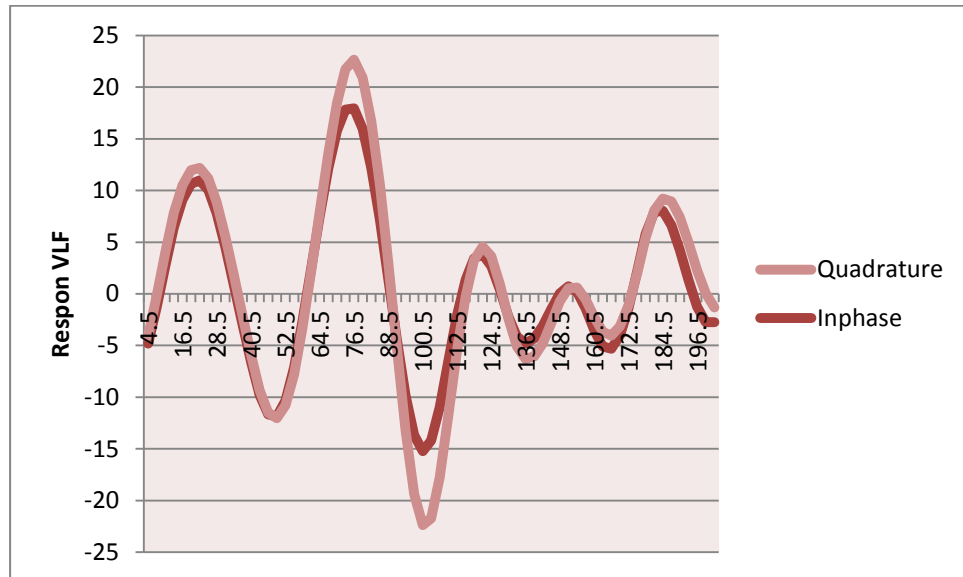


**Lampiran 5:** Hasil Filter NA-MEMD pada Data Lapangan VLF EM Lintasan 5

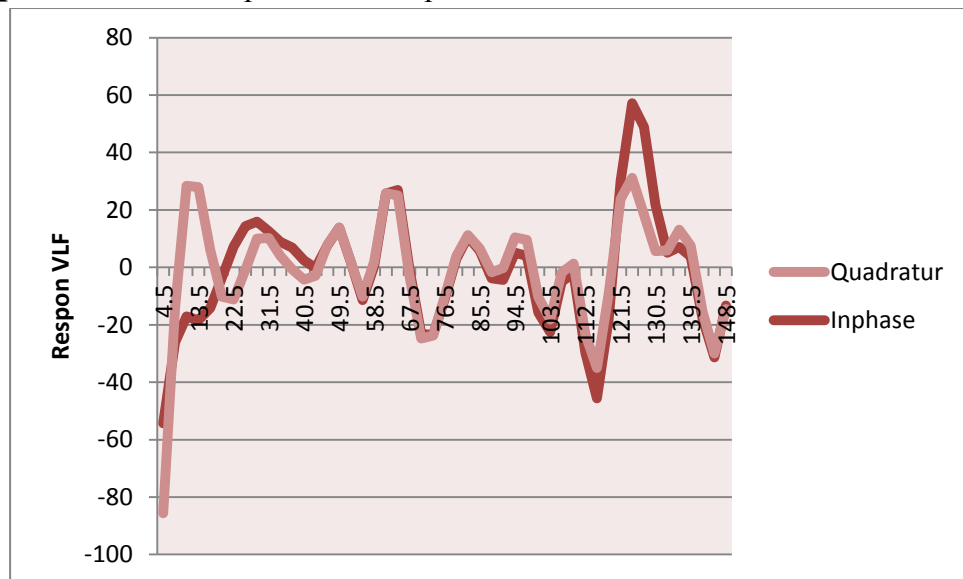


## LAMPIRAN B : Hasil Filter Fraser

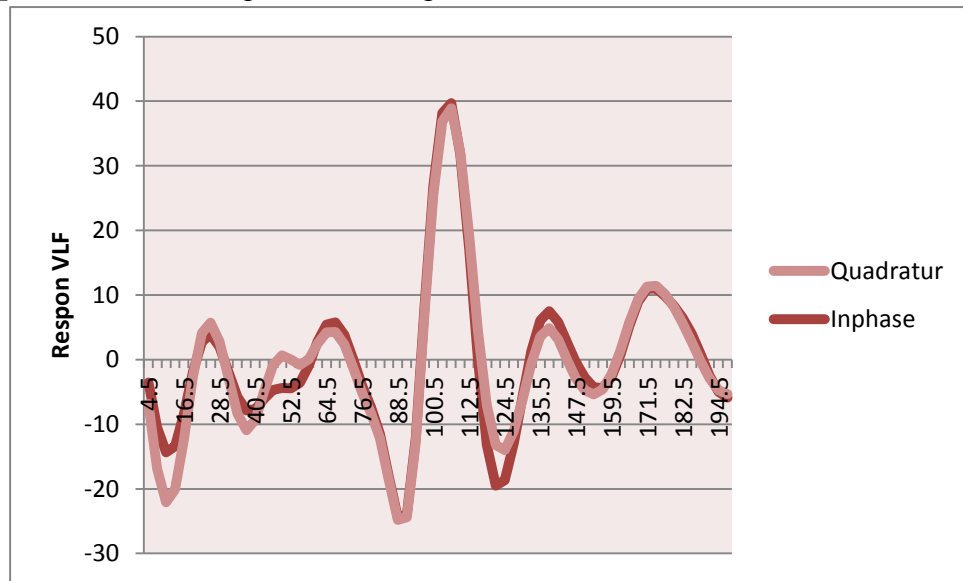
**Lampiran 1:** Grafik respon VLF EM pada lintasan 1



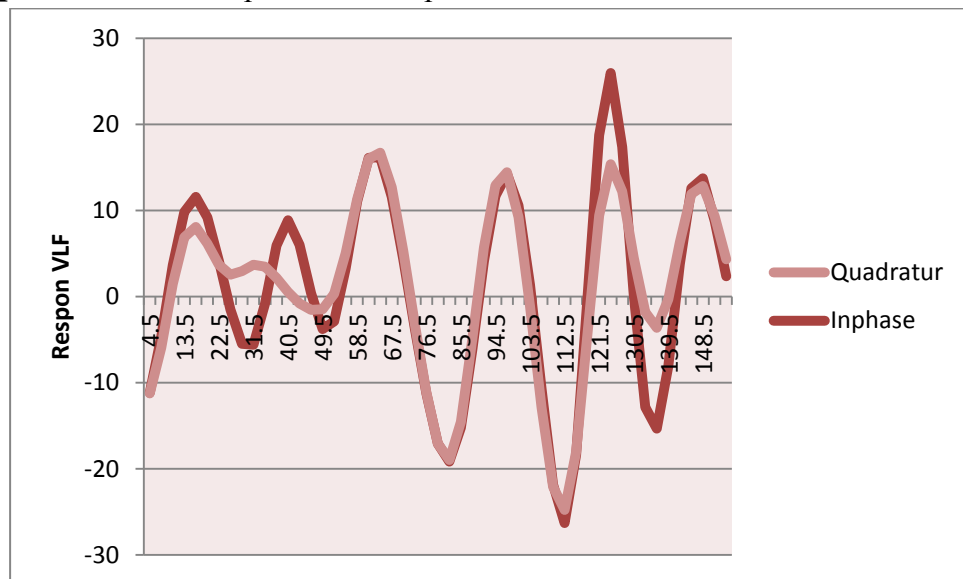
**Lampiran 2:** Grafik respon VLF EM pada lintasan 2



**Lampiran 3: Grafik respon VLF EM pada lintasan 3**

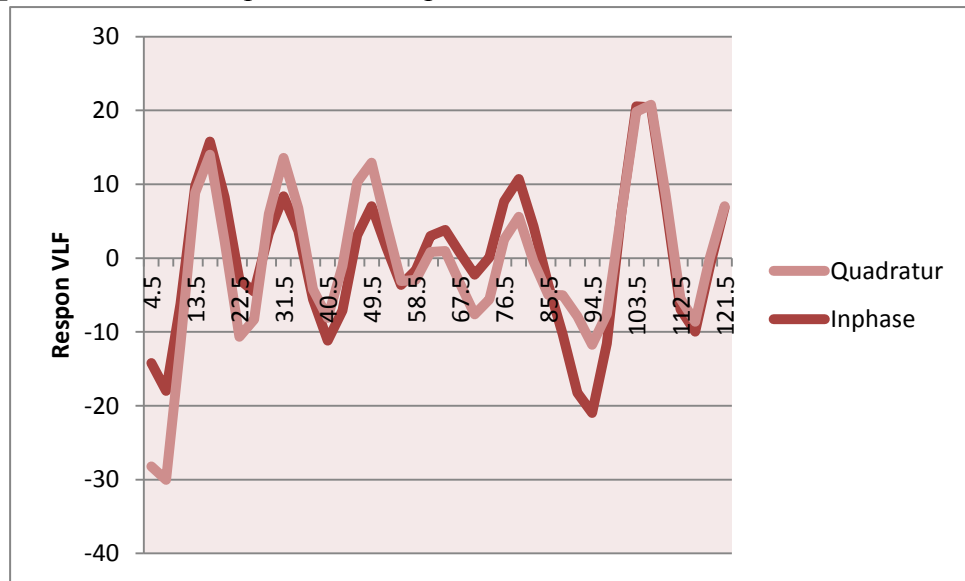


**Lampiran 4: Grafik respon VLF EM pada lintasan 4**





**Lampiran 5:** Grafik respon VLF EM pada lintasan 5



## Lampiran C : Data sheet Filter NA-MEMD

### Lampiran 1: Lintasan 1

No	x	Inphase	Quadrature
1	0	-7.101486559	-2.64693
2	3	-9.035761688	-2.56651
3	6	-10.30161307	-2.36918
4	9	-10.65641186	-2.08025
5	12	-9.948403092	-1.73435
6	15	-8.283812371	-1.37332
7	18	-5.935547429	-1.02178
8	21	-3.201089722	-0.69346
9	24	-0.372841035	-0.3933
10	27	2.218864202	-0.11593
11	30	4.240789281	0.148431
12	33	5.397493268	0.407367
13	36	5.594165391	0.655559
14	39	4.837741536	0.879172
15	42	3.152087405	1.060472
16	45	0.625358623	1.175551
17	48	-2.396870668	1.215685
18	51	-5.476289163	1.177812
19	54	-8.166142283	1.06132
20	57	-10.03324473	0.880652
21	60	-10.72938224	0.696681
22	63	-10.12691168	0.600111
23	66	-8.224402058	0.683914
24	69	-5.124700169	1.033725
25	72	-1.083618607	1.708328
26	75	3.499741214	2.705938
27	78	8.119649124	3.928581
28	81	12.22384696	5.21435
29	84	15.34274481	6.387728
30	87	17.17363763	7.279047
31	90	17.56055659	7.721294
32	93	16.44017887	7.556797
33	96	13.89194949	6.688861
34	99	10.32415871	5.207769
35	102	6.34626251	3.346405
36	105	2.642156215	1.398131
37	108	-0.17902912	-0.34849
38	111	-1.775744931	-1.68014

39	114	-2.228200866	-2.52989
40	117	-1.793302541	-2.91116
41	120	-0.833536936	-2.90485
42	123	0.221576647	-2.66732
43	126	0.969250987	-2.38562
44	129	1.090729641	-2.22599
45	132	0.477129882	-2.27739
46	135	-0.652906841	-2.52939
47	138	-1.924996202	-2.92457
48	141	-3.044565397	-3.38309
49	144	-3.84453178	-3.82492
50	147	-4.204511999	-4.17266
51	150	-4.130045831	-4.37083
52	153	-3.873050057	-4.41244
53	156	-3.749112701	-4.30883
54	159	-4.061579716	-4.07796
55	162	-4.989422414	-3.75096
56	165	-6.351848889	-3.38311
57	168	-7.778569867	-3.04426
58	171	-8.869196907	-2.80836
59	174	-9.269286419	-2.73868
60	177	-8.735254225	-2.81899
61	180	-7.186036971	-2.95473
62	183	-5.058486017	-2.96103
63	186	-2.955500273	-2.66724
64	189	-1.245012607	-2.07001
65	192	-0.15011069	-1.24984
66	195	0.179209243	-0.3108
67	198	-0.212224071	0.609781
68	201	-1.000475622	1.345621
69	204	-1.769659936	1.729626
70	207	-2.178103332	1.64642

## Lampiran 2: Lintasan 2

No	x	Inphase	Quadrature
1	0	36.51959625	5.772246
2	3	14.56588665	-10.7505
3	6	0.475533267	-19.8915
4	9	-3.63907761	-16.442
5	12	-7.463858625	-2.34543
6	15	-12.74530274	11.48993
7	18	-16.74672154	16.06181

8	21	-17.64101594	13.35674
9	24	-15.50659226	7.676315
10	27	-11.63576681	3.307138
11	30	-7.167815107	2.615278
12	33	-4.091241293	2.491814
13	36	-2.154282587	1.147094
14	39	-0.243992453	-0.89619
15	42	0.850789464	-2.98945
16	45	-0.813417882	-3.44597
17	48	1.129442516	-3.08386
18	51	6.617762648	-3.17678
19	54	7.520802871	-3.30552
20	57	2.13604367	-2.90828
21	60	0.584763009	-2.33327
22	63	9.502249159	-2.30501
23	66	18.94544964	-2.86321
24	69	18.04873791	-3.6422
25	72	10.09154366	-4.05496
26	75	3.696373912	-4.06535
27	78	0.846925222	-3.82903
28	81	1.74821626	-3.53587
29	84	5.80324213	-3.42754
30	87	7.490283442	-3.37159
31	90	5.849507378	-2.86496
32	93	3.57435207	-1.75691
33	96	5.381532814	-0.33433
34	99	9.102913215	1.060975
35	102	3.796741227	2.473534
36	105	-5.083126614	3.678685
37	108	-4.591394221	4.265054
38	111	-1.608766528	4.94338
39	114	-10.19508077	6.407593
40	117	-25.74277509	9.185883
41	120	-31.62807514	12.70691
42	123	-22.06771805	11.73594
43	126	-5.218372575	3.892029
44	129	8.670385059	-5.40847
45	132	12.94624082	-9.52866
46	135	12.20967761	-8.07915
47	138	14.50288214	-6.11438
48	141	17.75652262	-5.49052
49	144	12.75635364	-4.91285

50	147	1.69058282	-4.31193
51	150	-2.55019761	-4.73561
52	153	3.675749738	-5.62636

### Lampiran 3: Lintasan 3

No	x	Inphase	Quadrature
1	0	17.12765838	5.298574
2	3	18.13012786	5.369226
3	6	17.28417386	4.534275
4	9	14.43009301	2.803762
5	12	10.50773948	0.702438
6	15	6.873850405	-1.09464
7	18	4.67032317	-2.10111
8	21	4.362383281	-2.18553
9	24	5.296870995	-1.72469
10	27	6.481378767	-1.19706
11	30	7.108076746	-0.93195
12	33	6.632163828	-1.15768
13	36	5.043942954	-1.88382
14	39	2.914018947	-2.78345
15	42	0.898971944	-3.31398
16	45	-0.57957594	-3.01619
17	48	-1.6576005	-1.94465
18	51	-2.72832785	-0.56169
19	54	-3.87715258	0.623967
20	57	-4.92580666	1.304028
21	60	-5.26473356	1.518427
22	63	-4.4380488	1.396324
23	66	-2.93621037	1.069119
24	69	-1.34771581	0.668036
25	72	-0.24019825	0.289572
26	75	-0.21798171	-0.0378
27	78	-1.36616433	-0.30989
28	81	-3.17306204	-0.53709
29	84	-5.74025735	-0.71514
30	87	-10.2737103	-0.83924
31	90	-16.7921795	-0.91649
32	93	-23.6807953	-0.97865
33	96	-27.4394515	-1.11441
34	99	-25.2236084	-1.39261
35	102	-17.9565514	-1.75115
36	105	-7.79232885	-2.09638

37	108	2.758738368	-2.32849
38	111	11.17340109	-2.30524
39	114	15.58727442	-1.81994
40	117	15.40807837	-0.71264
41	120	11.5750863	0.932446
42	123	6.22575634	2.648426
43	125	1.250822138	3.887946
44	128	-2.09410797	4.338904
45	131	-3.45533339	4.129219
46	134	-2.99690431	3.580377
47	137	-1.24229859	2.936409
48	140	0.845583915	2.296345
49	143	2.390383952	1.632879
50	146	3.019515845	0.933705
51	149	2.884479134	0.272357
52	152	2.152603552	-0.24166
53	155	1.002623173	-0.52412
54	158	-0.23336574	-0.55738
55	161	-1.0165968	-0.41225
56	164	-0.88390912	-0.20893
57	167	0.44262857	-0.0508
58	170	2.820132436	0.037715
59	173	5.716466039	0.108704
60	176	8.533240974	0.222913
61	179	11.00051288	0.325665
62	181	13.0754696	0.300535
63	184	14.74321342	0.0561
64	187	15.81093901	-0.31072
65	190	16.0514666	-0.61713
66	193	15.34929249	-0.71051
67	196	14.00227045	-0.62904
68	199	12.43419918	-0.47321
69	201	11.04599306	-0.34814

**Lampiran 4: Lintasan 4**

No	x	Inphase	Quadrature
1	0	-4.4891	0.06066
2	3	-8.21321	0.405172
3	6	-11.27	0.366926
4	9	-12.6123	0.025683
5	12	-11.5078	-0.53356
6	15	-8.72589	-1.27078

7	18	-5.55701	-2.18385
8	21	-3.09653	-3.10297
9	24	-2.00693	-3.3775
10	27	-2.51036	-2.35422
11	30	-4.10699	-0.05284
12	33	-5.88558	2.751821
13	36	-6.33626	4.142576
14	39	-4.47383	2.831913
15	42	-1.80562	0.289976
16	45	-0.15328	-1.61232
17	48	-0.11586	-2.07228
18	51	-1.46775	-1.161
19	54	-2.56542	-0.23696
20	57	-1.89528	0.208083
21	60	1.10349	0.178298
22	63	5.472514	0.05236
23	66	9.848948	0.218232
24	69	12.89305	0.556107
25	72	14.00253	0.81813
26	75	13.05118	0.929614
27	78	10.15709	0.946865
28	81	5.681041	0.93834
29	84	0.450463	0.955797
30	87	-3.75723	1.103293
31	90	-5.33426	1.450718
32	93	-4.10006	1.890077
33	96	-0.87366	2.23631
34	99	3.116711	2.320623
35	102	6.159654	1.988779
36	105	6.658673	1.239789
37	108	3.978482	0.56149
38	111	-1.85664	0.475499
39	114	-9.3464	1.090773
40	117	-14.826	1.468017
41	120	-14.7615	0.444777
42	123	-9.29127	-2.10387
43	126	-1.56393	-5.28362
44	129	3.464313	-6.96623
45	132	3.032997	-5.57633
46	135	-0.92533	-2.36306
47	138	-5.40391	0.861989
48	141	-7.81902	2.919946

49	144	-6.58843	3.340493
50	147	-2.85328	2.97061
51	150	1.024363	2.63673
52	153	3.251247	2.802454
53	156	3.656741	3.377494
54	159	2.975589	4.050567

#### **Lampiran 5: Lintasan 5**

<b>No</b>	<b>x</b>	<b>Inphase</b>	<b>Quadrature</b>
1	0	3.4428961	10.02256
2	3	3.92543082	7.721462
3	6	-0.45517491	3.554446
4	9	-6.39389458	0.200793
5	12	-8.11879348	-0.95364
6	15	-4.9118597	-0.77726
7	18	0.19405818	-0.90443
8	21	2.57312883	-2.61409
9	24	0.96485321	-5.0513
10	27	-1.09587528	-6.23938
11	30	0.0738149	-5.17119
12	33	3.12527701	-3.44466
13	36	4.22076535	-2.77006
14	39	2.68045508	-2.78834
15	42	-0.91841362	-2.08001
16	45	-3.36920355	-0.40989
17	48	-1.97788536	1.572307
18	51	0.75365907	3.15001
19	54	0.91175334	3.918479
20	57	-0.64560121	3.968855
21	60	-1.30226559	3.578357
22	63	-0.0668449	3.009124
23	66	1.13737801	2.354898
24	69	1.32965865	1.353606
25	72	0.41906225	-0.08583
26	75	-0.20485595	-1.58552
27	78	2.03504639	-2.80766
28	81	5.85988491	-4.03849
29	84	6.67416945	-5.47966
30	87	5.52662364	-6.14915
31	90	3.41617536	-4.74948
32	93	-1.51911515	-1.59502
33	96	-7.76060249	1.025791



34	99	-11.3332485	1.890429
35	102	-9.5063627	1.53514
36	105	-3.18875012	1.27606
37	108	2.91300757	1.379215
38	111	4.82863738	1.768364
39	114	2.22660578	2.117642
40	117	-1.40066203	2.453702
41	120	-1.52319645	2.805226
42	123	1.29162566	2.907745
43	126	2.62664665	2.531784

## Lampiran D : Data Sheet Filter Fraser

### Lampiran 1: Lintasan 1

No	X	Inphase	Quadrature
1	4.5	-4.82078	0.764004
2	7.5	-1.26744	1.121099
3	10.5	2.725809	1.341765
4	13.5	6.385455	1.419489
5	16.5	9.095578	1.392428
6	19.5	10.64543	1.308349
7	22.5	10.98266	1.206006
8	25.5	10.03358	1.119255
9	28.5	7.792259	1.065031
10	31.5	4.532005	1.030426
11	34.5	0.793624	0.978933
12	37.5	-3.00183	0.876718
13	40.5	-6.65446	0.701292
14	43.5	-9.76134	0.451592
15	46.5	-11.6506	0.157474
16	49.5	-11.8709	-0.1521
17	52.5	-10.3262	-0.45152
18	55.5	-7.1202	-0.6618
19	58.5	-2.65691	-0.64518
20	61.5	2.411313	-0.29331
21	64.5	7.507192	0.420848
22	67.5	12.14299	1.458028
23	70.5	15.76522	2.696626
24	73.5	17.82771	3.892465
25	76.5	17.92737	4.728665
26	79.5	15.9472	4.967559
27	82.5	12.17289	4.523844
28	85.5	7.167602	3.398262
29	88.5	1.484353	1.611316
30	91.5	-4.40207	-0.75468
31	94.5	-9.78463	-3.38146
32	97.5	-13.6617	-5.69148
33	100.5	-15.2277	-7.15209
34	103.5	-14.2073	-7.50454
35	106.5	-10.9432	-6.77317
36	109.5	-6.46707	-5.25967
37	112.5	-2.06673	-3.41242
38	115.5	1.377106	-1.60598

39	118.5	3.409543	-0.13111
40	121.5	3.817667	0.763079
41	124.5	2.671941	0.96056
42	127.5	0.377032	0.549554
43	130.5	-2.23576	-0.19517
44	133.5	-4.14576	-0.95057
45	136.5	-4.79378	-1.50088
46	139.5	-4.31119	-1.75406
47	142.5	-3.07948	-1.68993
48	145.5	-1.44546	-1.33548
49	148.5	0.045948	-0.78569
50	151.5	0.712395	-0.17778
51	154.5	0.192403	0.396479
52	157.5	-1.42884	0.892354
53	160.5	-3.53058	1.252729
54	163.5	-5.07942	1.401551
55	166.5	-5.3065	1.281441
56	169.5	-4.00806	0.880332
57	172.5	-1.35677	0.294958
58	175.5	2.217192	-0.22668
59	178.5	5.760018	-0.3581
60	181.5	7.907305	0.145445
61	184.5	8.04401	1.178519
62	187.5	6.618863	2.308428
63	190.5	4.229611	3.176604
64	193.5	1.362108	3.618821
65	196.5	-1.2418	3.516041
66	199.5	-2.73712	2.776269
67	202.5	-2.73506	1.420643

### Lampiran 2: Lintasan 2

No	x	Inphase	Quadrature
1	4.5	-54.249	-31.35528
2	7.5	-26.1444	11.854497
3	10.5	-17.0456	45.477991
4	13.5	-18.3891	46.339183
5	16.5	-14.1786	20.274044
6	19.5	-3.65558	-6.518688
7	22.5	7.245378	-18.43509
8	25.5	14.34403	-15.11063
9	28.5	15.8833	-5.876361
10	31.5	12.55806	-2.283508

11	34.5	8.860781	-4.856188
12	37.5	6.852321	-7.524552
13	40.5	2.435647	-6.686325
14	43.5	-0.29077	-2.644186
15	46.5	7.709834	0.1747743
16	49.5	13.82254	0.0475218
17	52.5	1.909641	0.0468385
18	55.5	-11.4178	1.2407488
19	58.5	0.430166	1.5755208
20	61.5	25.72689	0.0733347
21	64.5	26.90718	-1.867127
22	67.5	-0.30742	-2.528942
23	70.5	-23.2063	-1.614906
24	73.5	-23.597	-0.197215
25	76.5	-11.1928	0.7554274
26	79.5	3.008159	0.9309766
27	82.5	10.69838	0.5657643
28	85.5	5.788332	0.7268563
29	88.5	-3.86967	2.1772591
30	91.5	-4.38391	4.1453056
31	94.5	5.060587	5.3485101
32	97.5	3.94377	5.6257515
33	100.5	-15.7708	5.4255771
34	103.5	-22.5742	4.40923
35	106.5	-4.91378	3.0562152
36	109.5	-2.12933	3.4072343
37	112.5	-29.7377	6.3850426
38	115.5	-45.567	10.541821
39	118.5	-17.7579	8.849379
40	121.5	30.08476	-6.26482
41	124.5	57.14781	-25.95929
42	127.5	48.90272	-30.56509
43	130.5	21.70391	-16.09137
44	133.5	5.095934	0.7435952
45	136.5	7.103486	6.0029023
46	139.5	3.800317	3.7901526
47	142.5	-17.8125	2.3801249
48	145.5	-31.3725	1.3558333
49	148.5	-13.3214	-1.137201

**Lampiran 3: Lintasan 3**

<b>No</b>	<b>X</b>	<b>Inphase</b>	<b>Quadrature</b>
1	4.5	-3.543519374	-3.329762939
2	7.5	-10.47646923	-6.397301255
3	10.5	-14.33267699	-7.730238258
4	13.5	-13.39365892	-6.701948412
5	16.5	-8.348883437	-3.894440462
6	19.5	-1.884919299	-0.714476968
7	22.5	2.745543311	1.364887994
8	25.5	3.930201237	1.781218923
9	28.5	1.961990812	0.83212328
10	31.5	-1.913348732	-0.912495656
11	34.5	-5.782278673	-2.577637166
12	37.5	-7.86311589	-3.05592941
13	40.5	-7.638565893	-1.66290877
14	43.5	-6.05016733	1.136588485
15	46.5	-4.705324357	3.823842225
16	49.5	-4.368303987	5.023124302
17	52.5	-4.417030889	4.434329084
18	55.5	-3.585059795	2.76017392
19	58.5	-0.899823128	0.986756224
20	61.5	2.816281048	-0.357012127
21	64.5	5.418856179	-1.177595793
22	67.5	5.786345107	-1.507834225
23	70.5	3.825746221	-1.485379132
24	73.5	0.003768024	-1.305298615
25	76.5	-4.081046404	-1.098759568
26	79.5	-7.329173347	-0.904538167
27	82.5	-11.47474131	-0.707397094
28	85.5	-18.15257045	-0.503503979
29	88.5	-24.45900716	-0.340758444
30	91.5	-24.05435704	-0.337322225
31	94.5	-12.19008515	-0.611876019
32	97.5	7.940086996	-1.050702515
33	100.5	26.91417969	-1.340516807
34	103.5	38.1465694	-1.281120986
35	106.5	39.68101974	-0.786197399
36	109.5	31.79426598	0.299697816
37	112.5	17.06321334	2.101143794
38	115.5	0.222489159	4.344985761
39	118.5	-13.19451016	6.11345797
40	121.5	-19.50658619	6.316566797

41	124.5	-18.64412847	4.64597854
42	126.5	-13.02601984	1.931751245
43	129.5	-5.608951874	-0.517254329
44	132.5	1.310238455	-1.951336675
45	135.5	6.055523029	-2.476841738
46	138.5	7.47517077	-2.587562784
47	141.5	5.806614471	-2.666171293
48	144.5	2.668027111	-2.723162331
49	147.5	-0.37281711	-2.535883814
50	150.5	-2.748768254	-1.971838321
51	153.5	-4.267825255	-1.11219425
52	156.5	-4.405189271	-0.203852907
53	159.5	-2.669763355	0.460309199
54	162.5	0.808681996	0.70989581
55	165.5	5.163266929	0.608097605
56	168.5	8.977879025	0.40615289
57	171.5	10.98694601	0.344705001
58	174.5	10.99715538	0.402158238
59	177.5	9.826275463	0.294582058
60	180.5	8.284929167	-0.191942271
61	182.5	6.478169953	-0.880820565
62	185.5	4.043722582	-1.284484358
63	188.5	0.846606659	-1.07301375
64	191.5	-2.510842658	-0.411697934
65	194.5	-4.96428946	0.225383055
66	197.5	-5.871370705	0.518195156

**Lampiran 4: Lintasan 4**

No	X	Inphase	Quadrature
1	4.5	-11.1801	-0.07322
2	7.5	-4.63692	-1.27998
3	10.5	3.648647	-2.19695
4	13.5	9.837263	-2.94675
5	16.5	11.58019	-3.48247
6	19.5	9.179441	-3.02583
7	22.5	4.136248	-0.4449
8	25.5	-1.51389	4.073405
9	28.5	-5.47528	8.430692
10	31.5	-5.60449	9.301454
11	34.5	-0.81752	4.275509
12	37.5	5.94239	-3.77251
13	40.5	8.851191	-8.29683

14	43.5	6.01032	-6.80649
15	46.5	0.375304	-1.91094
16	49.5	-3.76403	2.28664
17	52.5	-2.8771	3.204399
18	55.5	3.24137	1.78434
19	58.5	11.03671	0.259537
20	61.5	16.11326	-0.11579
21	64.5	16.16599	0.543681
22	67.5	11.57411	1.103646
23	70.5	4.311718	0.973406
24	73.5	-3.6873	0.502242
25	76.5	-11.2156	0.13746
26	79.5	-17.0768	0.017658
27	82.5	-19.1449	0.173885
28	85.5	-15.223	0.659874
29	88.5	-6.12755	1.281705
30	91.5	4.117768	1.572376
31	94.5	11.67737	1.216138
32	97.5	14.25009	0.183015
33	100.5	10.57527	-1.32836
34	103.5	1.360791	-2.50812
35	106.5	-10.6965	-2.19158
36	109.5	-21.8402	-0.23501
37	112.5	-26.2943	1.521801
38	115.5	-18.3845	0.346522
39	118.5	0.119644	-4.21788
40	121.5	18.73231	-9.30028
41	124.5	25.95316	-10.5908
42	127.5	17.35251	-5.15507
43	130.5	0.207275	4.310456
44	133.5	-12.8266	11.04149
45	136.5	-15.3306	11.72132
46	139.5	-8.07821	7.761506
47	142.5	3.781215	2.529168
48	145.5	12.57854	-0.6531
49	148.5	13.71732	-0.87192
50	151.5	8.736905	0.572607
51	154.5	2.356721	1.988877

**Lampiran 5: Lintasan 5**

No	X	Inphase	Quadrature
1	4.5	-14.2174	-13.9888

2	7.5	-17.9829	-12.0288
3	10.5	-6.18158	-5.48614
4	13.5	9.794887	-0.92885
5	16.5	15.79784	-1.78762
6	19.5	8.255784	-5.98369
7	22.5	-2.89821	-7.77216
8	25.5	-4.56004	-3.74518
9	28.5	3.330114	2.67483
10	31.5	8.368103	5.195842
11	34.5	3.702129	3.057445
12	37.5	-5.584	1.346373
13	40.5	-11.1888	3.0685
14	43.5	-7.10913	6.030768
15	46.5	3.063391	7.212225
16	49.5	7.012501	5.906077
17	52.5	1.490378	3.165016
18	55.5	-3.61328	0.478722
19	58.5	-1.63526	-1.29985
20	61.5	3.0184	-2.18319
21	64.5	3.836147	-2.87898
22	67.5	0.678188	-4.09624
23	70.5	-2.25283	-5.37985
24	73.5	0.08147	-5.66096
25	76.5	7.680725	-5.1748
26	79.5	10.70386	-5.12497
27	82.5	4.305862	-4.78266
28	85.5	-3.59126	-1.38047
29	88.5	-10.3037	5.284311
30	91.5	-18.2225	10.32939
31	94.5	-20.9909	9.260718
32	97.5	-11.5599	3.994801
33	100.5	6.398738	-0.10502
34	103.5	20.56387	-0.77029
35	106.5	20.43676	0.336378
36	109.5	7.330986	1.230732
37	112.5	-6.9157	1.423765
38	115.5	-9.9791	1.372921
39	118.5	-1.05751	1.141627
40	121.5	6.842131	0.1806



## LAMPIRAN E: Data Sheet Survei VLF

### Lampiran 1: Data Pengukuran Lintasan 1

Nama Lintasan : Geo 1 (Joging Track)

Tanggal/Jam : 28 Februari 2015 / 06.00 WIB

Arah Pengukuran : Utara - Selatan

Spasi dan Frekuensi : 3 m / 19.8 kHz

No	x	Inphase	Quadrature	T.Field	Tlit	Q	S
1	0	2.6	-6.8	43.3	1.5	4	9
2	3	-3.8	-7	45	-2.1	5	7
3	6	-5.9	-6.1	44.8	-3.3	3	9
4	9	-8.6	-5.8	43.1	-4.8	5	7
5	12	-3.1	-5.3	46.3	-1.7	5	9
6	15	-7	-4.7	46.1	-4	5	7
7	18	3.9	-4.9	41.9	2.2	5	6
8	21	6.4	-4.7	48.8	3.6	5	9
9	24	5.6	-4.6	45.3	3.2	6	7
10	27	4.7	-3.5	45.8	2.7	3	8
11	30	12	-3.7	44.4	6.8	5	6
12	33	11.2	-3.5	48.4	6.4	4	7
13	36	2.7	-3.1	47.4	1.5	3	7
14	39	14.1	-2.9	44.7	8	3	6
15	42	13.1	-3.2	49.4	7.5	4	6
16	45	15.6	-3.4	46.1	8.9	4	6
17	48	-7	-3	43.7	-4	7	7
18	51	-1.3	-2.7	45.4	-0.7	6	8
19	54	-8.1	-2.9	49.2	-4.6	4	8
20	57	-8.5	-2.6	47.5	-4.8	5	7
21	60	1.7	-3.2	46.7	0.9	6	8
22	63	-8.2	-3.2	49.9	-4.6	7	9
23	66	3.4	-3.1	47.9	1.9	2	9
24	69	7.4	-3	47.5	2.5	5	9
25	72	-4.1	-2.4	49.7	-2.3	6	8
26	75	8.6	-1.9	50.1	4.9	2	8
27	78	17.9	-1.3	48	10.2	5	5
28	81	9.6	-0.1	49.7	5.5	5	9
29	84	13	0.5	45.7	7.4	4	6
30	87	25.8	1.5	47	14.4	3	4
31	90	29.6	3	52.8	16.5	2	4
32	93	20.6	4.7	50.1	11.7	2	5
33	96	13.8	5.8	50	7.9	4	6
34	99	26.6	3.1	56.5	14.9	3	5
35	102	20.9	-3	54.4	11.8	4	5

36	105	-7.9	-6.3	50.5	-4.5	2	9
37	108	2.3	-6.6	48.51	1.3	5	9
38	111	3	-6.9	45.81	1.7	4	9
39	114	3	-7	47.31	1.7	4	9
40	117	6.1	-7.2	9.6	3.5	5	9
41	120	3.2	-6.3	41.4	1.8	5	9
42	123	4.7	-6.9	49.3	2.7	2	9
43	126	7.7	-7.3	47.2	4.4	2	9
44	129	-1.7	-7.6	44.3	-0.8	2	9
45	132	6.3	-7.9	48.1	3.6	3	9
46	135	7.2	-8.7	49	4.1	5	9
47	138	5.1	-8.7	45.6	2.9	2	9
48	141	0.6	-8.9	47.1	0.3	4	9
49	144	-0.1	-8.2	47.9	0	5	9
50	147	-5.5	-9.2	47	-3.1	5	9
51	150	-9	-9.7	50	-5.1	4	9
52	153	8.5	-9.6	51.2	4.9	2	9
53	156	5.6	-9.2	47.6	3.2	2	9
54	159	-4.1	-9.6	49.7	-2.3	3	9
55	162	-9.7	-9.9	51.5	-5.5	2	9
56	165	3.3	-8.7	46.8	1.9	2	9
57	168	3.2	-8.7	48.9	1.8	2	9
58	171	-6.6	-8.3	44.1	-3.7	6	9
59	174	-14.6	-8.5	47.1	-8.3	2	7
60	177	1.8	-8.3	45.2	1	4	9
61	180	-8.8	-8.3	46.8	-5	4	9
62	183	-1.1	-8.9	51.8	-0.6	4	9
63	186	0	-9.2	48.6	0	5	9
64	189	-0.2	-7.9	51.6	-0.1	4	9
65	192	-0.2	-7.8	49.2	0	2	9
66	195	5.4	-5.5	51.2	3	2	9
67	198	14.1	-5.3	51.7	8	2	9
68	201	-1.9	-4.4	50.5	1	5	9
69	204	-7.1	-4.1	54.1	4	5	9
70	207	-5.3	-3.5	31.3	-2.9	5	7

**Lampiran 2:** Data Pengukuran Lintasan 2  
Nama Lintasan : Geo 2 (Jalan Masuk)  
Tanggal/Jam : 28 Februari 2015 / 10.00 WIB  
Arah Pengukuran : Utara - Selatan  
Spasi dan Frekuensi : 3 m / 19.8 kHz

No	x	Inphase	Quadrature	T.Field	Tlit	Q	S
1	0	71	0.2	364.5	7	9	9
2	3	2.5	-18.4	51.9	1.5	5	9
3	6	15	-21	45.9	8.2	5	7
4	9	21.7	-26.3	44.6	13.1	2	6
5	12	-1.6	-4.1	39	-0.8	2	9
6	15	-21.1	13	44.6	-12	5	9
7	18	-11.1	8.5	49.9	-6.3	2	9
8	21	-8.7	6.7	42.9	-4.9	3	9
9	24	-11.5	4.3	42.7	-6.5	3	9
10	27	-16.9	3.9	50.3	-9.5	2	9
11	30	-7.6	3.3	49.3	-4.3	2	9
12	33	-10	3	51.7	-5.7	3	9
13	36	-5.2	3.2	47	-2.8	3	9
14	39	-10.4	2.6	50	-5.9	5	9
15	42	-3.6	0	48.4	-2	4	9
16	45	-12.1	1.4	47.5	-6.8	2	9
17	48	-7.6	2.2	52.2	-4.3	6	9
18	51	-5.7	2.5	52.6	-3.2	4	9
19	54	-1.8	3.4	49.9	-1	4	9
20	57	-5.6	4.3	47.4	-3.1	4	9
21	60	-21.7	5.5	46.3	-12.2	4	6
22	63	-3	5.7	49.7	-1.7	2	9
23	66	15.1	5.9	50.3	-8.5	6	9
24	69	-4.7	5.2	49.2	-2.6	4	9
25	72	-1.6	5.6	51	-0.8	4	9
26	75	-5.4	5.6	55.3	-3	5	9
27	78	-9.3	5.7	49.5	-5.3	4	9
28	81	-15.9	5.9	50.8	-9	5	9
29	84	-6.4	6.2	48	-3.6	5	9
30	87	-7	5.8	47.7	-4	2	9
31	90	-11.3	6.4	56.3	-6.4	5	9
32	93	-6.2	7	49.9	-3.5	4	9
33	96	-11.8	8.2	53.2	-6.7	5	9
34	99	-0.7	9.1	47.3	-0.4	3	9
35	102	-9.8	9.9	49.8	-5.6	3	9
36	105	-16.2	10.8	53	-9.3	4	9
37	108	-15.5	10.5	51.4	-8.9	4	9
38	111	-11.2	10.4	48.9	-6.4	3	9
39	114	-17.1	11.5	49.7	-9.7	2	9
40	117	-36.7	13.4	52.1	-20.1	2	5
41	120	-34.7	15.4	51.2	-19.5	3	7

42	123	-31.2	14.8	60.1	-17.6	2	6
43	126	-10.7	6	63.4	-6	6	9
44	129	7.6	-5.4	60.7	4.4	2	5
45	132	9.7	-9.9	49.9	5.6	5	7
46	135	12.6	-9	47.5	7.2	2	8
47	138	12.4	-8.2	49.9	7.1	4	8
48	141	22	-8.6	44.8	12.5	2	5
49	144	11.2	-8.4	49.8	6.4	4	8
50	147	10	-9.1	47.7	5.7	3	8
51	150	-3.3	-9.8	44.2	-1.8	2	7
52	153	14.5	-11.8	38	8.3	2	9

**Lampiran 3: Data Pengukuran Lintasan 3**

Nama Lintasan : Geo 3 (Area Taman Wisata)

Tanggal/Jam : 29 Februari 2015 / 06.00 WIB

Arah Pengukuran : Utara - Selatan

Spasi dan Frekuensi : 3 m / 19.8 kHz

No	x	Inphase	Quadrature	T.field	Tilt	Q	S
1	0	8.6	-1.1	40.1	40.9	6	8
2	3	12.4	-0.7	42.2	7	3	8
3	6	19.5	-0.2	45.6	11	4	6
4	9	18	0.6	44.2	10.2	3	7
5	12	3	-6.5	48.9	1.7	2	9
6	15	0.9	-9.8	47	0.5	4	9
7	18	-0.5	-8.3	43.2	-0.2	4	9
8	21	-4.2	-6.8	41.8	-2.4	2	9
9	24	6.5	-6.1	46.2	3.7	3	9
10	27	3	-5.5	43.8	1.7	2	9
11	30	6.8	-5.5	47.9	3.9	3	9
12	33	6.8	-5.7	45.5	3.9	2	9
13	36	-2.9	-6.7	44.3	-1.6	4	9
14	39	1.1	-8	44.7	0.6	4	9
15	42	-8.5	-9.4	43.5	-4.8	2	9
16	45	1.4	-9.1	47	0.8	2	9
17	48	2.2	-5.5	50.4	1.2	2	9
18	51	-17.9	-4	44.6	-10.1	2	6
19	54	4.3	-3.5	48	2.4	2	7
20	57	10.3	-3.2	48.6	-5.8	3	6
21	60	-30.1	-2.8	45.7	-16.7	3	9
22	63	1.1	-2.6	46.7	0.6	3	9
23	66	7.5	-2.5	45	4.3	3	9
24	69	-0.1	-2.4	44.6	0	4	9

25	72	1.8	-2.6	46	1	4	9
26	75	-26.4	-2.8	51.4	-14.8	2	5
27	78	-12.6	-3.1	46	-7.1	7	9
28	81	6.1	-2.8	43	3.4	2	7
29	84	-33	-3	42.3	-18.2	4	4
30	87	4.4	-2.8	45.9	2.5	4	9
31	90	-13.8	-2.9	43.6	-7.8	2	8
32	93	-16	-2.3	40.1	-9	2	5
33	96	-54.2	-2.6	50.5	-28.5	2	3
34	99	-30	-2	43.9	-16.9	2	5
35	102	-4.2	-2.2	44.1	-2.4	2	9
36	105	9.2	-5.1	50.4	5.2	5	3
37	108	-1.5	-3	49	0.8	5	9
38	111	9.4	4.1	48.7	5.4	3	7
39	114	17.1	-3.9	49.7	9.7	2	5
40	117	6	-0.5	53.9	3.4	2	7
41	120	14.3	1.3	53.2	8.1	3	6
42	123	12.8	3.9	54.8	7.3	3	6
43	125	-6.4	5.3	53.8	-3.6	2	6
44	128	3.3	6.5	55.5	1.7	2	7
45	131	-1.4	5.9	54.3	-9.7	3	8
46	134	-6.2	3.7	50	-3.5	4	9
47	137	-1.4	7.4	50.1	-0.7	2	7
48	140	1.1	4.2	50.7	0.6	2	7
49	143	2.1	4	46	1.2	3	9
50	146	6.9	3.3	47.5	4	2	5
51	149	4.7	3.2	46.2	2.7	3	5
52	152	-3.8	3.4	46.6	-2.1	5	5
53	155	7.4	2.6	47.6	4.2	4	7
54	158	-0.5	2.4	49.5	-0.2	5	9
55	161	-0.4	3.7	51	-0.2	5	9
56	164	-1.8	4.2	51.2	-1	2	9
57	167	-1.6	4.7	51.9	-0.9	3	9
58	170	6.4	4	53.3	3.7	3	6
59	173	5.3	4.2	49.3	3	2	8
60	176	9.6	4.6	52	5.5	3	7
61	179	15.3	4.9	53.1	8.7	2	5
62	181	9.6	5.4	58	5.5	4	8
63	184	13.5	6.8	51.9	7.7	4	6
64	187	21.3	4.8	56	12	3	4
65	190	14.6	3.9	53.7	8.3	3	5
66	193	18.5	3.6	63.1	10.5	2	5

67	196	19.9	5.7	63.4	11.3	5	5
68	199	8.3	5.8	69.3	4.8	2	7
69	201	9.8	3.1	70.5	5.6	2	7

**Lampiran 4:** Data Pengukuran Lintasan 4

Nama Lintasan : Geo 4 (Joging Track)

Tanggal/Jam : 29 Februari 2015 / 10.00 WIB

Arah Pengukuran : Utara - Selatan

Spasi dan Frekuensi : 3 m / 19.8 kHz

No	x	Inphase	Quadrature	T.field	Tilt	Q	S
1	0	-8.9	-2.1	37.6	-5	6	9
2	3	-20.9	-2.7	40.6	-11.8	3	7
3	6	-21.2	-4.5	39.9	-11.9	6	7
4	9	-40.6	-5.5	45.6	-22.1	2	4
5	12	-19	-5.9	44.6	-10.8	6	9
6	15	-17.6	-6.7	46.4	-10	7	9
7	18	-5.8	-6.7	46.5	-3.3	6	9
8	21	-15.7	-4.7	43.4	-8.9	5	7
9	24	-14.1	-6.5	45.5	-8	4	7
10	27	-11.7	-7.7	51.4	-6.6	5	9
11	30	-1	-8.3	47.5	-0.5	5	9
12	33	-4.5	-9.8	51.3	-2.5	7	9
13	36	-15.1	9	50.5	-8.6	3	7
14	39	-6.1	-7.2	50.1	-3.5	6	9
15	42	1.6	-7.8	52.9	0.9	4	9
16	45	10	-8.3	51.7	5.7	4	9
17	48	-7.1	-7.8	54.1	-4	2	8
18	51	14.6	-8.1	53.3	8.3	4	8
19	54	1.6	-7.5	50.9	0.9	5	9
20	57	5.9	-7.2	54.5	3.4	6	9
21	60	10.8	-6.8	50.6	6.2	7	9
22	63	27.1	-7.3	46.8	15.2	6	5
23	66	10.4	-6.6	54.4	6	7	9
24	69	25.7	-6.7	47.4	14.5	6	6
25	72	18.5	-6.5	45.7	10.5	7	9
26	75	21.7	-6.8	45.8	12.3	6	7
27	78	33	-7.3	44.2	18.3	2	4
28	81	36.1	-7.2	46.3	19.9	4	4
29	84	17.4	-6.5	46.5	9.9	6	9
30	87	6.6	-6.7	41.8	3.8	6	9
31	90	5.2	-6.2	42.9	3	3	9
32	93	22.6	-6	44.3	12.7	4	6

33	96	27	-6.2	41.5	15.1	6	5
34	99	25.9	-5.6	42.4	14.6	6	6
35	102	24.2	-5.6	43	13.6	5	5
36	105	26	-6.6	43.1	14.6	7	5
37	108	28.7	-7	41.2	16	6	5
38	111	20.1	-6.9	40	11.9	3	5
39	114	17.7	-6.8	36.8	10.1	4	7
40	117	3	-6.6	36.4	1.7	5	9
41	120	14.8	-6.8	37	8.5	2	5
42	123	0	-6.8	37.7	0	6	9
43	126	36	-7.4	41.1	19.8	5	4
44	129	24.7	-26.5	37.5	13.9	6	5
45	132	23.7	-5.5	36.4	13.3	6	5
46	135	23.4	-5.3	35.1	13.2	6	6
47	138	14.1	-4	38	8	6	9
48	141	22.5	-3.4	35.7	12.7	6	5
49	144	11.3	-2.9	36.4	6.4	7	8
50	147	26.6	-2	34	14.9	6	5
51	150	19.8	-1.7	34.4	11.2	7	6
52	153	31.6	-1.7	32.5	17.5	6	4
53	156	24.5	-0.8	33.5	13.6	6	4
54	159	20.5	-0.6	31.7	11.5	4	5

**Lampiran 5: Data Pengukuran Lintasan 5**

Nama Lintasan : Geo 5 (Jalan Raya)

Tanggal/Jam : 01 Maret 2015 / 06.00WIB

Arah Pengukuran : Utara - Selatan

Spasi dan Frekuensi : 3 m / 19.8 KHZ

No	x	Inphase	Quadrature	T.field	Tlit	Q	S
1	0	-18	-8.8	44.9	-10.2	2	9
2	3	-11.1	-12.1	41.5	-6.3	5	9
3	6	-15.7	-17.2	42.8	-9.1	2	9
4	9	-23.2	-20.2	41.4	-13.5	2	6
5	12	-23.3	-21.4	40.5	-13.6	2	5
6	15	-16.3	-21.7	44.5	-9.6	2	8
7	18	-12.9	-22.2	44	-7.6	2	8
8	21	-5.9	-23	37.5	-3.5	2	9
9	24	-6.3	-25.8	36.4	-3.8	2	7
10	27	-12.1	-28.8	39.3	-7.4	2	7
11	30	-5.6	-25.2	40	-3.3	3	9
12	33	1.2	-23.7	35.9	0.7	2	9
13	36	-1.4	-23	41.6	-0.8	2	9

14	39	2	-23.2	40.4	1.2	2	9
15	42	-0.1	-21.2	40.3	0	2	9
16	45	-3.4	-19.3	41.7	-2	2	8
17	48	-1.8	-16.4	42.9	-1	2	9
18	51	7.1	-14.6	41.2	4.2	2	9
19	54	6.6	-12.9	42.5	3.8	2	9
20	57	0.8	-11.9	44	0.5	2	9
21	60	-0.5	-11.3	43.5	-0.2	2	9
22	63	10.2	-11.6	41.1	5.9	4	9
23	66	6.2	-10.3	44.7	3.6	2	9
24	69	3.5	-10.6	43.2	2	2	7
25	72	3.9	-11.2	41.2	2.2	2	9
26	75	10.3	-11.9	44.6	5.9	3	9
27	78	0.2	-11.8	42.9	0.1	2	9
28	81	18	-12.3	43.8	10.3	2	8
29	84	5.8	-12.1	44	3.4	5	9
30	87	0.2	-11.7	39.3	0.1	2	7
31	90	12.9	-10.9	43.8	7.4	2	9
32	93	0.5	-3.3	45.8	0.3	2	9
33	96	-12.7	-2	44.9	-7.1	2	8
34	99	-9.6	-0.4	47	-5.4	5	6
35	102	-14	0	46.8	-7.9	2	7
36	105	-4.7	1	47.7	-2.6	2	7
37	108	0.2	1.4	47.3	0.1	5	8
38	111	-3.7	2.5	49.5	-2.1	4	9
39	114	0.7	3.5	45.6	0.4	5	9
40	117	-11	4.1	46	-6.2	2	8
41	120	-15.7	5.2	44.7	-8.9	2	5
42	123	-0.6	5.4	42.5	-0.3	2	4
43	126	-8.8	6.1	43.7	-5	2	5



## LAMPIRAN F: Tabel Resistivitas

### Lampiran 1: Tabel resistivitas material batuan beku dan metamorf

Jenis Material	Harga Resistivitas (ohm.meter)
Porfiri	60 – 10.000
Diabas	20 – 50.000.000
Caps rock	50 – 500.000
Andesit	50 – 50.000
Lavas	100 – 50.000
Basalt	10 – 13.000.000
Schists	20 – 10.000
Gneiss	10 – 10.000
Quarzites	10 – 200.000.000

(Telford, dkk., 1976)

### Lampiran 2: Tabel resistivitas batuan sedimen

Jenis Material	Harga Resistivitas (ohm.meter)
Tanah lempung	1.5 – 3
Lempung	3 – 15
Lemauan	15 – 150
Tanah lanau pasiran	150 – 300
Batuan dasar lembab	300
Pasi kerikil kelanauan	2400
Batuan dasar tak lapuk	2400
Kelompok cheret	20 – 200

Sumber: Roy E. Hunt, 1984.

### Lampiran 3: Tabel resistivitas material

Jenis Material	Resistivity ( $\Omega$ m)
Granit	200 – 100.000
Andesit	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
Basal	200 – 100.000
Gamping	500 – 10.000
Batu Pasir	200 – 8.000
Batu Tulis	20 – 2.000
Pasir	1 – 1.000
Lempung	1 – 100
Air Tanah	0,5 – 300
Air Asin	0,2
Magnetik	0,01 – 1.000
Kerikil Kering	600 – 10.000
Tanah Aluvial	10 -800
Kerikil	100 – 600

Sumber : Blaricom, 1988

## **LAMPIRAN G: Pengambilan Data Lapangan**

### **Lampiran 1: Lintasan 1 (jogging track 1)**



### **Lampiran 2: Lintasan 2 (jalan masuk)**





**Lampiran 3:** Lintasan 3 (area taman pemandian)



**Lampiran 4:** Lintasan 4 (jogging track 2)



**Lampiran 5: Lintasan 5 (jalan raya)**



*(“Halaman ini sengaja dikosongkan”)*



## BIOGRAFI PENULIS



**ROSDIANA YOKU**, lahir pada tanggal 17 April 1990 di Kpr. Harapan Sentani, Kabupaten Jayapura – Papua sebagai anak ke tiga dari pasangan Ir. Adolof Yoku, Sp dan Almaruhumah Maria Sem.

Setelah menempuh pendidikan formal di Taman Kanak- Kanak (TK) Hamung Putro Yogyakarta, SD YPK Onomi Flavouw Sentani, SLTP Negeri 1 Sentani, SMA Negeri 1 Jayapura, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di S1 Jurusan Fisika FMIPA,

Universitas Cenderawasih Jayapura Papua pada tahun 2008 dan lulus dari Universitas Cenderawasih sebagai salah satu peserta wisuda pada tanggal 15 Maret 2012. Kemudian penulis mendapatkan beasiswa dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) pada tahun 2012 Agustus untuk melanjutkan pendidikan tinggi program pascasarjana Fisika, dengan masa satu tahun sebagai mahasiswa Pra S2 Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan pada tahun 2013 September diterima sebagai mahasiswa program pascasarjana Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada akhir masa pendidikannya, penulis menyusun tesis sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister Sains (M.Si), dibawah bimbingan Bapak Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si. Penulis mengambil topik mengenai energi panas bumi (geothermal).

Dengan ketekunan, motivasi tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan pengerjaan tesis ini. Semoga dengan penulisan tesis ini

mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan serta sebagai titik ukur bagi penelitian lanjutan mengenai energi panas bumi (geothermal) di Indonesia.

**Data Pribadi Penulis :**

Nama : Rosdiana Yoku.

Alamat : BTN Puskopad Jalur 3 No.38 DII, RT 03 RW 12 Sentani, Kab.  
Jayapura Provinsi Papua.

Telp/Hp : (01247306036)/ (082233529234).

Email : yokurosh\_diana@yahoo.co.id.